

AALTO-YLIOPISTO – TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta

Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos

Risto Malmstedt

TIETOKONEOHJATTU TESTAUSJÄRJESTELMÄ SÄHKÖTURVALLISUUSMITTAUKSIIN

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi

diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 5.5.2010

Työn valvoja ja ohjaaja

Professori Petri Kärhä

AALTO-YLIOPISTO

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä:	Risto Malmstedt
Työn nimi:	Tietokoneohjattu testausjärjestelmä sähköturvallisuusmittauksiin
Päivämäärä:	5.5.2010
Sivuja:	70
Osasto:	Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta
Professuuri:	S-108, Mittaustekniikka
Työn valvoja ja ohjaaja:	Professori Petri Kärhä
<p>Työssä suunniteltiin ja toteutettiin GE Healthcare Finland Oy:n käyttöön uusi testausjärjestelmä, jolla voidaan tehdä sähköturvallisuusmittaukset standardien IEC-60601, EN-50191 ja EN-50116 mukaisesti ja niiden vaatimassa ympäristössä.</p> <p>Vanhaan järjestelmään verrattuna uusi testausjärjestelmä on parempi siinä, että kaikki sähköturvallisuustestaus tehdään yhdellä laitteella. Lisäksi uusi järjestelmä on automaattinen testattavien tuotteiden määräämissä rajoissa. Myös ohjelmistoa tehtiin yhtenäisemmäksi testausympäristön osalta. Testauksissa käytettävät asetukset tehtiin jälkeinpäin muokattaviksi.</p> <p>Testauslaitteeksi valittiin Associated Research Inc. Omnia 8106. Automaattisuus mahdollistettiin saman valmistajan SC6540 matriisiskannerilla. Ulkoiseksi tehölähteeksi valittiin California Instrumentsin 801RP. Suunnittelu toteutettiin ohjelmiston käytettävyyttä silmällä pitäen, ja testausjännitteistä, testausvirroista, rasisajoista ym. tehtiin muokattavissa olevia. Testausympäristöksi valittiin muilla GE Healthcaren testausosastoilla käytössä oleva National Instrumentsin testijonosekvensseri, TestStand. Testausmenetelmät toteutettiin LabVIEW ohjelmointikielellä. Järjestelmään tehtiin myös editori, jolla pystytään ylläpitämään laitteille tehtäviä testejä ja niiden asetuksia, tarkastelemaan raportteja, ylläpitämään käyttöoikeuksia ja muokkaamaan laitekohtaisia asetuksia.</p> <p>Tuloksena saatiin testiajojen perusteella toistettavasti testejä tekevä ja kattava testausjärjestelmä, jolla pystytään tekemään testejä nopeammin vanhaan järjestelmään verrattuna järjestelmän automaattisuuden ansiosta. Tyypillisesti testattavan laitteen kytkeminen järjestelmään kestää noin 30 s ja testaaminen noin 2 min. Uudesta järjestelmästä saatiin lisäksi monipuolisempi ja tarkempi uusien testityyppien ja tarkemman testauslaitteen ansiosta. Järjestelmä mittaa dielektrisyyden lujuuden testit 2,1 % epävarmuudella, vuotovirtat testit 1,7 % epävarmuudella ja suojamaadoituksen impedanssin testit 4,0 % epävarmuudella.</p>	
Avainsanat:	testaus, mittaus, sähköturvallisuus, standardi, dielektrinen lujuus, vuotovirta, suojamaadoituksen impedanssi, LabVIEW

AALTO UNIVERSITY

SCHOOL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS

Author:	Risto Malmstedt		
Name of the Thesis:	Computer Controlled Testing System for Electrical Safety Measurements		
Date:	5 May 2010	Number of pages:	70
Department:	Faculty of Electronics, Communications and Automation		
Professorship:	S-108, Measurement Science and Technology		
Supervisor and Instructor:	Professor Petri Kärhä		
<p>In this master's thesis, a test system was designed and implemented. The system is able to execute electrical safety tests according to the requirements of IEC-60601, EN-50191 and EN-50116 standards for test environment and methods. System will be used by GE Healthcare Finland.</p> <p>As compared to the previous testing system, the new system is better, because it executes all electrical safety tests with one testing device. Besides, the system is as automatic as products allow. The Software was also designed to be more integrated concerning the interface of the software. Settings of the tests are configurable afterwards.</p> <p>Associated Research Inc. Omnia 8106 was chosen to be the testing device and SC6540 matrix scanner from the same manufacturer automates testing. California Instruments 801RP was chosen to be the external power supply of the system. The software was designed for usability. Testing voltages, currents and stress times were designed to be configurable. National Instruments test sequencer, TestStand was chosen to be the interface for testing. It is also used in other testing sites of GE Healthcare. Testing methods were implemented with the LabVIEW programming language. An editor, which can be used to maintain tests and specifications of the devices, to view testing reports, to maintain access rights and to configure device-specific settings, was also implemented for the testing system.</p> <p>According to beta testing, the system was reliable and inclusive. It can be used to execute tests faster than the previous system. Typically connecting of a unit to the system takes approximately 30 s of time and testing of a unit approximately 2 min of time. The new system was more versatile and accurate, because of new test types and more accurate testing device. The system measures dielectric strength tests with uncertainty of 2,1 %, leakage current tests with uncertainty of 1,7 % and protective earth tests with uncertainty of 4,0 %.</p>			
Keywords:	testing, measuring, electrical safety, standard, dielectric strength, leakage current, protective earth, LabVIEW		

Alkulause

Projekti tehtiin GE Healthcaren palveluksessa Global Test Teamin Helsingin osastolla. GE Healthcare kuuluu amerikkalaisen monikansallisen monialayrityksen, General Electricin, alaisuuteen. GE:n tuotteisiin kuuluvat mm. automaation, ilmailun, energian tuotannon, terveydenhuollon, jälleenmyynnin ja kuljetuksen palvelut sekä laitteet. General Electric toimii maailmanlaajuisesti yli sadassa maassa ja työllistää yli 300 000 ihmistä.

Kiitän saamastani ohjauksesta työn valvojaa ja ohjaajaa Petri Kärhää. Tahdon kiittää myös esimiestäni Pirjo Kuittista tämän työn mahdollistamisesta. Kollegoistani tahdon kiittää Jukka Rantasta avusta standardien koukeroiden selvittämisessä, Marko Laasosta ja Hannu Mannista tuotannon tarpeiden selvittämisestä, Esko Korhosta testausympäristön suunnittelusta, Mika Kärnää opastuksesta TestStand ohjelmiston ymmärtämiseen, Tommi Tuovista LabVIEW ohjelmointiin liittyvistä hyvistä neuvoista ja Tarmo Dahlströmiä vanhan järjestelmän toteutustapojen selventämisestä. Lisäksi tahdon kiittää läheisiäni saamastani kannustuksesta ja tuesta.

Espoossa 5.5.2010

Risto Malmstedt

Sisällysluettelo

ALKULAUSE	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
LYHENTEET JA SYMBOLIT	6
JOHDANTO.....	8
1 SÄHKÖTURVALLISUUS JA IHMINEN.....	9
1.1 Sähkön vaarat ihmiselle	9
1.2 Suojautuminen sähköltä.....	12
2 STANDARDIT LÄÄKETIETEELLISTEN LAITTEIDEN TURVALLISUUDEN TESTAAMISEEN	13
2.1 Sähkölaitteiden direktiivinen turvallisuus ja sertifiointi.....	13
2.2 CEI/IEC-60601-1:2005 – Yleiset vaatimukset lääketieteellisten laitteiden perusturvallisuudelle ja - suorituskyvyille	14
2.3 EN-50191 – Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö.....	20
2.4 Muut standardit.....	21
3 TESTAUSJÄRJESTELMÄN LAITTEISTO	22
3.1 Testausympäristö	22
3.2 Järjestelmään tarvittavat laitteet.....	23
3.3 Laitteiden kytkennät	25
4 TESTAUSJÄRJESTELMÄN OHJELMISTO	32
4.1 Testijonoeditorin kuvaus	32
4.2 Testijonoeditorin ohjelmointi	37
4.3 Testaussekvensserin kuvaus	39
4.4 Testijonon ohjelmointi.....	41
5 JÄRJESTELMÄN VALIDOINTI.....	45
5.1 Mittausepävarmuus.....	45
5.2 Tulosten vertailu vanhaan järjestelmään.....	46
5.3 Testien hylkäyshavainnointi	49
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	51
7 LÄHTEET	52
LIITTEET.....	53
Liite 1: IEC-60601 standardin listaamat virtarajat vuotovirtatesteissä 1	53
Liite 2: IEC-60601 standardin listaamat virtarajat vuotovirtatesteissä 2	54
Liite 3: IEC-60601 standardin listaamat testausjännitteet dielektrisen lujuuden testeissä 1	55
Liite 4: IEC-60601 standardin listaamat testausjännitteet dielektrisen lujuuden testeissä 2	56
Liite 5: EN-50191 standardin määräämät etäisyydet kielletylle alueelle jännitteen mukaan listattuna	57
Liite 6: Kuvan 12 ARI Omnia 8106 testauslaitteen etupaneelin numeroitujen osien selitykset.....	58
Liite 7: Kuvan 12 ARI Omnia 8106 testauslaitteen takapaneelin numeroitujen osien selitykset	59
Liite 8: Kuvan 14 ARI SC6540 orjamatriisiskannerin etupaneelin numeroitujen osien selitykset	61
Liite 9: Kuvan 14 ARI SC6540 orjamatriisiskannerin takapaneelin numeroitujen osien selitykset.....	62
Liite 10: Kuvan 16 ARI SC6540 päämatriisiskannerin takapaneelin numeroitujen osien selitykset	64
Liite 11: Esimerkkituloste järjestelmän tuottamasta testausraportista	65
Liite 12: Esimerkkituloste järjestelmän tuottamasta testityyppien parametritaulukosta	66
Liite 13: Uudella järjestelmällä tehtyjen 10 testiajon tulokset	69
Liite 14: Vanhalla järjestelmällä tehtyjen 10 testiajon tulokset	70

Lyhenteet ja symbolit

GE	General Electric (yritys)
IEC	International Electrotechnical Commission (kansainvälinen elektroniikan standardoimiskomitea)
ISO	International Organization for Standardization (kansainvälinen standardoimiskomitea)
CENELEC	European Committee For Electrotechnical Standardization (eurooppalainen elektroniikan standardoimiskomitea)
SESKO	Suomen Elektrotekninen Standardisoimiskomitea (suomalainen elektroniikan standardoimiskomitea)
SEMKO	Svenska Elektriska Materialkontroll (ruotsalainen elektroniikan standardoimiskomitea)
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker (saksalainen elektroniikan standardoimiskomitea)
CSA	Canadian Standards Association (kanadalainen standardoimiskomitea)
UL	Underwriters Laboratories Inc. (amerikkalainen standardoimiskomitea)
CPT	The Center for Political Technologies (venäläinen standardoimiskomitea)
B/BF/CF	Body, Body Floating, Cardio Floating (laitteen tyyppi mittauskohteen mukaan; mittapäät maata vasten kehossa sekä mittapäät kelluvana kehossa ja sydämessä)
UUT/DUT	Unit/Device Under Test (testattava laite/tuote)
MD	Measuring Device (mittauslaite)
ANSI	American National Standards Institute (amerikkalainen standardoimiskomitea)
AAMI	Association for the Advancement of Medical Instrumentation (amerikkalainen standardoimiskomitea)

HV/HC	High Voltage/Current (Suurjännite/-virta)
GPIB	General Purpose Interface Bus (standardoitu ohjausväylä)
RS232	Recommended Standard 232 (standardoitu ohjausväylä)
NC/RM	Sähkönsyöttötapoja vuotovirtatestauksessa: Normal Condition, Reverse Mode (Normaali- ja käänteinen sähkönsyöttö)
OS/OE	Sähkönsyöttötapoja vuotovirtatestauksessa: Open Supply, Open Earth (Avoin vaihe ja avoin suojamaa)

Johdanto

Sähköturvallisuusmittauksilla testataan laitteen sähköistä turvallisuutta eri käyttö- ja vikatilanteissa. Suuret jännitteet ja virrat eivät saa rikkoo laitetta eivätkä kosketuksissa olevat sähköiset osat saa johtaa vaarallista virtaa esimerkiksi laitteen käyttäjään tai potilaaseen.

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin GE Healthcare Finland Oy:n käyttöön uusi testausjärjestelmä, jolla voidaan tehdä sähköturvallisuusmittaukset standardien IEC-60601, EN-50191 ja EN-50116 mukaisesti ja niiden vaatimassa ympäristössä.

Projektilla yhdenmukaistettiin, automatisoitiin ja nopeutettiin sähköturvallisuustestausta ohjelmoinnin, ohjelmiston ja laitevalintojen kautta. Myös testausympäristön turvallisuutta ja käytettävyyttä parannettiin uusien suojausmekanismien ja käyttövälineiden avulla. Projektin toteutus eteni testaustarpeiden määrittelystä sekä validointi- ja verifiointisuunnitelmasta järjestelmän suunnittelun ja toteutuksen sekä testauslaitteen ja -ohjelmiston kuvauksien dokumentoinnin kautta järjestelmän testaukseen ja käyttöönottoon.

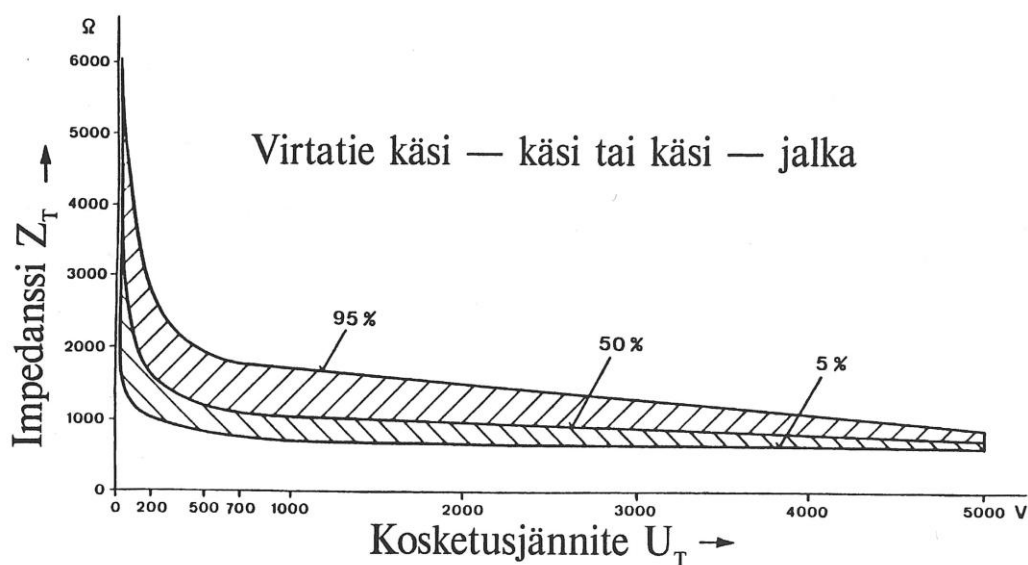
Vanhaan järjestelmään verrattuna uusi testausjärjestelmä on parempi siinä, että kaikki sähköturvallisuustestaus tehdään yhdellä laitteella. Lisäksi uusi järjestelmä on automaattinen testattavien tuotteiden määräämissä rajoissa. Myös ohjelmistoa tehtiin yhtenäisemmäksi testausympäristön osalta. Testauksissa käytettävät asetukset tehtiin jälkeinpäin muokattaviksi.

Luvussa 2, Sähköturvallisuus ja ihminen, kerrotaan sähköön vaaroista ihmiselle sekä siitä, kuinka näiltä vaaroilta suojaudutaan. Luvussa 3, Standardit lääketieteellisten laitteiden turvallisuuden mittaamiseen, kuvataan standardien IEC-60601, EN-50191 ja EN-50116 vaatimukset sähköturvallisuustestien ja testausympäristön osalta. Luvussa 4, Testausjärjestelmän laitteisto, kuvataan testausympäristön rakenne sekä järjestelmään käytettävät laitteet ja niiden kytkennät. Luvussa 5, Testausjärjestelmän ohjelmisto, kuvataan järjestelmään tehdyt ohjelmat: testijonoeditori sekä testaussekvensseri. Luvussa 6, Järjestelmän oikeellisuuden testaus, tarkastellaan järjestelmän tulosten toistettavuutta, vertailua vanhaan järjestelmään sekä testien hylkäyshavainnointia.

1 Sähköturvallisuus ja ihminen

1.1 Sähkön vaarat ihmiselle

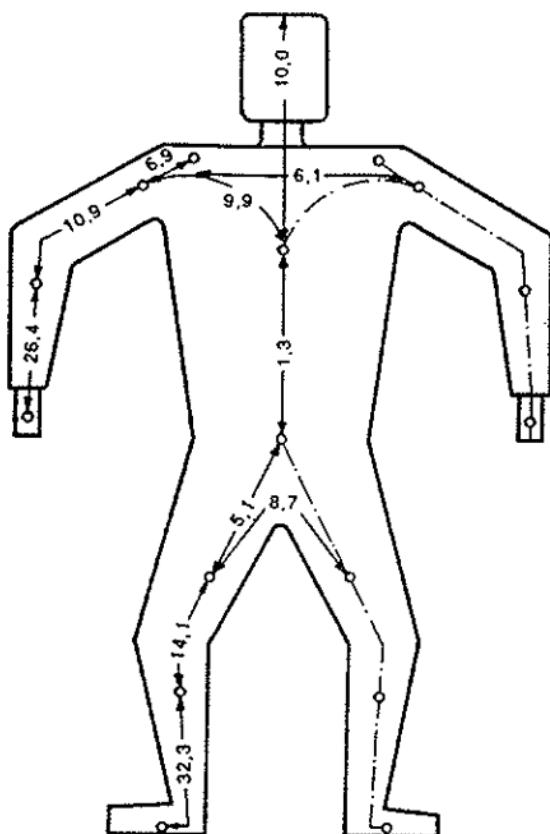
Sähkön vaarallisuus riippuu pääasiassa kehon läpi kulkevan virran suuruudesta ja kestoajasta. Suurin sallittu kosketusjännite on tarvittava kriteeri sähköiskulta suojaamisessa. Vaikka kosketusjännite on kehon läpi kulkevan virran ja kehon impedanssin tulo, virran ja jännitteen riippuvuus ei ole lineaarinen. Tämä johtuu siitä, että kehon impedanssi vaihtelee kosketusjännitteen funktiona, kuten kuvasta 1 näkyy. [1]



Kuva 1: Ihmisen kehon impedanssin riippuvuus kosketusjännitteestä. Kuvassa myös 5 % ja 95 % fraktaalit sekä mediaani ihmisväestössä. [1]

Ihmiskehon impedanssin katsotaan suurimmaksi osaksi olevan resistiivinen ja siihen vaikuttavat kosketusjännite, vaikutusaika, taajuus, ihon kosteus, kosketuspinta-ala, kosketuspaine, lämpötila ja ihmisen fysiologiset ominaisuudet. 500 V ylöspäin ihmiskehon impedanssi on noin 1000 Ω , kun virtatie on kädestä käteen tai jalkaan. Sähköiskun virtatie vaikuttaa myös erittäin paljon

impedanssiin, koska impedanssi vaihtelee suuresti ihmiskehon eri osissa, kuten kuvasta 2 nähdään. [1]



Kuva 2: Ihmisen kehon osien prosentuaaliset arvot koko kehon impedanssista. [1]

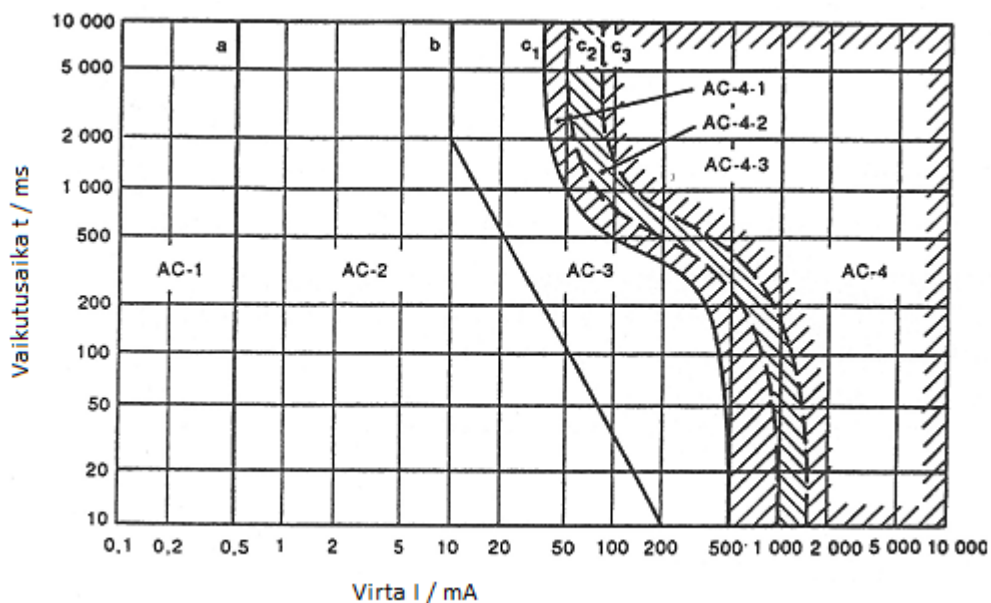
Vaihtovirran vaikutukset ihmiseen välillä 15-100 Hz ovat havaintojen mukaan samat kuin verkkovirran taajuusalueella 50-60 Hz. Tällöin esimerkiksi tuntoraja on noin 0,5-2,0 mA ja kouristusraja on noin 10 mA virran vaikutusajasta riippumatta. Sydänekammiovärinä on yleisin kuolinsyy sähkötapaturmissa. Virran minimiarvo, joka aiheuttaa sydänekammiovärinän, riippuu virran vaikutusajasta. Alle 0,1 s vaikutusajoilla värinä saattaa esiintyä 500 mA virroilla. 1-100 ms vaikutusajoilla virran raja-arvo laskee 400 mA:iin. 1-3 s vaikutusajoilla virtaraja taas laskee 40 mA:iin. [1]

Taulukosta 1 ja kuvasta 3 nähdään, mitä vaikutuksia virran suuruudella ja vaikutusajalla on ihmiskehossa. Yleensä ottaen mitä suurempi virta tai virran vaikutusaika, sitä pahemmat seuraukset virralla on. Kuvassa 3 on rajattu eri alueet

virran suuruuden ja vaikutusajan suhteen. Kuvan alueet sekä alueiden raja-arvot on nimetty vastaavasti kuten taulukossa 1, joka taas kuvailee näiden virta- ja vaikutusaika-alueiden fysiologisia seurauksia. [1]

Taulukko 1: 15-100 Hz vaihtovirran virta/aika-vaikutusalueiden fysiologiset vaikutukset ihmiskehossa. Taulukossa nimetyt alueet ja rajat vastaavat kuvassa 3 olevia. [1]

Alue	Rajat	Fysiologiset vaikutukset
AC-1	a	Tavallisesti ei reaktiota.
AC-2	a-b*	Tavallisesti ei haitallisia fysiologisia vaikutuksia.
AC-3	b-c ₁	Tavallisesti ei ole odotettavissa orgaanisia vaurioita. Krampinomaiset lihaskouristukset ja hengitysvaikeudet todennäköisiä virran vaikutusajan ollessa yli 2 s. Palautuvia sydämen toimintahäiriöitä, kuten eteisvärinää ja ohimeneviä kouristuksia ilman kammiovärinää. Häiriöt voimistuvat virran ja vaikutusajan kasvaessa.
AC-4	>c ₁	Virran ja vaikutusajan kasvaessa lisääntyviä vaarallisia fysiologisia vaikutuksia, kuten sydänkouristuksia, hengityslihasten kouristuksia ja pahoja palovammoja saat- taa esiintyä alueen 3 vaikutusten lisäksi.
AC-4-1	c ₁ -c ₂	Sydänkammiovärinän todennäköisyys kasvaa 5 %:iin.
AC-4-2	c ₂ -c ₃	Sydänkammiovärinän todennäköisyys kasvaa 50 %:iin.
AC-4-3	>c ₃	Sydänkammiovärinän todennäköisyys yli 50 %.
* Alle 10 ms vaikutusajoilla viivan b raja-arvo pysyy vakiona arvossa 200 mA.		



Kuva 3: Kuvaaja 15-100 Hz vaihtovirran virta/aika-vaikutusalueista ihmiskehossa. Kuvaajassa nimetyt alueet ja rajat vastaavat taulukossa 1 olevia. [1]

Muita sähköiskun aiheuttamia seurauksia ovat palovammat, tukehtuminen, sydän- ja lihaskouristukset, hengitysvaikeudet, kohonnut verenpaine, rytmihäiriöt eteisvärinäineen ja ohimenevine kouristuksineen sekä muut mahdollisesti vakavat sisäiset vammat. [1]

1.2 Suojautuminen sähköltä

Työpaikoilla työnantajalla on velvollisuus antaa työntekijän käyttöön tarvittavat henkilösuojaimet. Sähkön vaaroilta voidaan suojautua tai niitä voidaan ennalta ehkäistä opastuksella, koulutuksella, aitauksilla, varoituskylteillä ja -valoilla, hätäkytkimillä, suojakoteloilla tai vastaavilla, suojahansikkailla, -vaatteilla, maadoitusrannekkeilla, sekä maadoittavilla ja johtamattomilla kengillä. Sähkölaitteiden suunnittelussa suojauksia voidaan tehdä sulakkeilla, virtaa rajoittavilla piireillä, maadoituksilla, johtamattomilla koteloinneilla, eristyksillä ja tiiviydellä vettä, likaa yms. vastaan. [1]

2 Standardit lääketieteellisten laitteiden turvallisuuden testaamiseen

2.1 Sähkölaitteiden direktiivinen turvallisuus ja sertifiointi

Standardoimisjärjestöt vastaavat standardien ylläpidosta. Kansainvälisten standardointielinten kattojärjestönä toimii ISO (International Organization for Standardization), jonka maailmanlaajuisena alajärjestönä sähkötekniikassa toimii IEC (International Electrotechnical Commission). Euroopan sähköalan standardoimisjärjestö on CENELEC (European Committee For Electrotechnical Standardization) ja kansallisina järjestöinä toimivat esimerkiksi Suomessa SESKO (Suomen Elektrotekninen Standardisoimiskomitea), Ruotsissa SEMKO (Svenska Elektriska Materialkontroll), Saksassa VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker), Kanadassa CSA (Canadian Standards Association), USA:ssa UL (Underwriters Laboratories Inc.) ja Venäjällä CPT (The Center for Political Technologies). Näiden järjestöjen tuotesertifiointimerkit on esitetty kuvassa 4. [2]

EU-direktiivit yhtenäistävät jäsenmaiden lainsäädäntöä niin, että direktiivin mukaiset tuotteet voivat EU:n alueella liikkua vapaasti markkinoilla ilman lisätarkastuksia. CE-merkinnällä (kuva 4) valmistaja tai maahantuoja takaa, että tuote täyttää EU-säännösten vaatimukset. Standardeja sovelletaan kaupallisten laitteiden hyväksymisessä. [2]



Kuva 4: Suomen, Ruotsin, Saksan, Kanadan, USA:n ja Venäjän kansalliset tuotesertifiointimerkit sekä EU:n CE-merkki. [2]

2.2 CEI/IEC-60601-1:2005 – Yleiset vaatimukset lääketieteellisten laitteiden perusturvallisuudelle ja -suorituskyvylle

Standardi IEC-60601-1 määrittelee sähköturvallisuusmittausten syöttöjen testipisteet, jännitteet, virrat, taajuudet ja ajat, sekä mittaustestipisteet ja -rajat lääketieteellisten laitteiden testaukseen. Tämä standardi sisältää tyyppitestauksen määrittelyt. Tuotannon testaukseen määritetyt vaatimukset ovat lievemmat ja ne on käsiteltyinä kappaleessa Muut standardit. [3]

2.2.1 Suojamaadoituksen impedanssitestaus

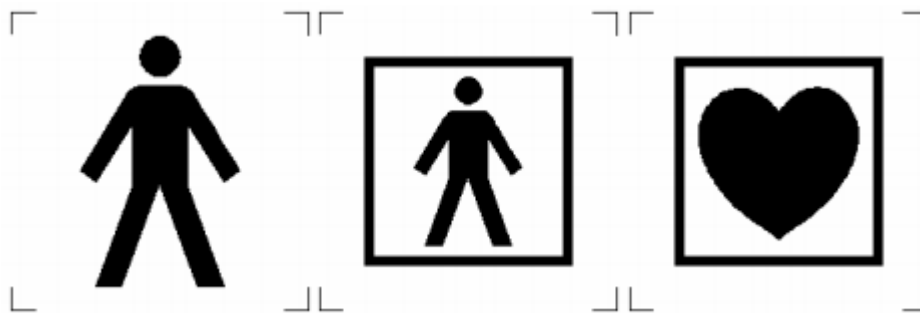
Suojamaadoituksen impedanssin testauksessa kaikki osat, jotka on suojamaadoitettu, testataan syöttämällä niiden kautta virtaa verkkoliitännän suojamaahan joko 25 A tai 1,5-kertainen määrä kyseisen piirin suurimpaan määritettyyn virtaan nähden – näistä suurempi virran arvo valitaan. Virtaa syötetään 50 tai 60 Hz taajuudella 5-10 s ajan. Virransyötön jännite ei saa nousta yli 6 V, kun siihen ei ole kytketty kuormaa. Suojamaadoitetun pisteen ja suojamaan välille muodostuvan jännite-eron ja syötetyn virran avulla lasketaan suojamaaresistanssi. Suojamaaresistanssi saa olla enintään 100 m Ω pysyvästi asennetuille laitteille ja laitteille, joiden sähkönsyöttö on kosketeltavissa. Laitteiden, joiden sähkönsyöttö ei ole kosketeltavissa, suojamaaresistanssi saa olla enintään 200 m Ω . [3]

2.2.2 Vuotovirtatestaus

Vuotovirtamittauksissa testattava laite käynnistetään ja mitataan, kuinka paljon se johtaa virtaa laitteen eri osista niihin koskettaessa. Testauksen mittaustilanteissa sähkönsyöttö laitteelle tehdään testistä ja testipisteestä riippuen 2, 4 tai 6 tavalla: normaalilla ja käänteisellä syötöllä, vaihe kelluvana normaalilla ja käänteisellä syötöllä sekä suojamaa kelluvana normaalilla ja käänteisellä syötöllä. Kelluvalla suojamaalla ja vaiheella simuloidaan katkoksia sähkönsyötössä. Normaalilla ja

käänteisellä syötöllä taas simuloidaan sähköpistokkeen kahta eri asentoa, kun se on kytkettynä esimerkiksi eurooppalaiseen CEE7/7 pistokkeeseen. Sähkönsyötön jännitteenä käytetään vähintään 110 % korkeimmasta laitteelle määritetystä jännitteestä ja taajuutena korkeinta määritettyä taajuutta. [3]

Laitteen vuotovirtarajat määräytyvät laitteen tyypin mukaan. Lääketieteelliset laitteet jaetaan kolmeen päätyyppiin laitteen käyttötavan mukaan. Nämä B-, BF- ja CF –laitetyyppien (Body, Body Floating ja Cardio Floating; laitteen tyyppi mittaushetken mukaan; mittapää maata vasten kehossa sekä mittapää kelluvana kehossa ja sydämessä) laitekilvet on esitetty kuvassa 5. CF-tyypin laite voi olla suorassa kontaktissa potilaan sydämeen ja sillä on tiukimmat vuotovirtarajat. Seuraavaksi tiukimmat rajat on BF-tyypin laitteilla, jotka vain yleisesti ottaen ovat yhteydessä potilaan muihin ruumiinosiin. Löyhimmät vaatimukset on B-tyypin laitteilla, jotka eivät yleensä ole suorassa kosketuksessa potilaaseen, ja jotka ovat nopeasti irrotettavissa potilaasta. B-tyypin laitteen mittauspää voi olla yhteydessä laitteen maapotentiaalin, kun taas BF- ja CF-tyypin laitteen mittapää ovat kelluvia. [3]



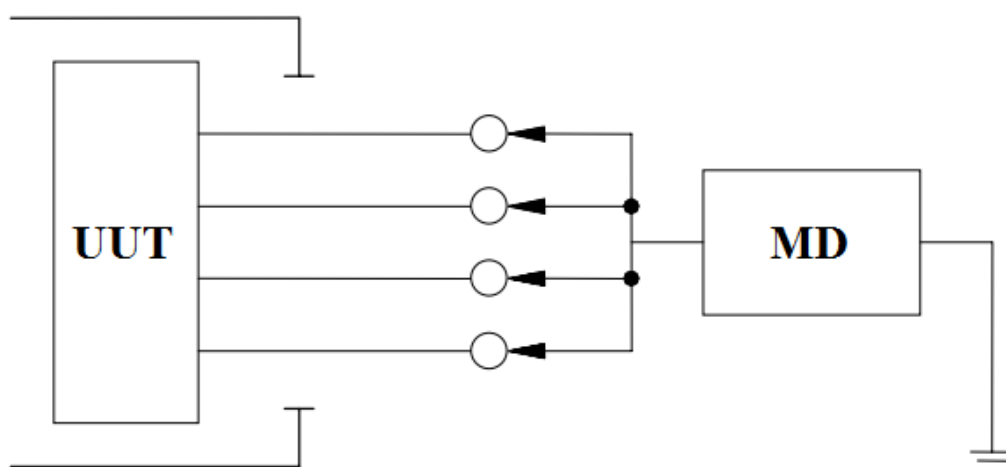
Kuva 5: B-, BF- ja CF-tyypin laitteiden laitemerkinnät. [3]

Standardi IEC-60601-1 määrittelee myös virtarajat eri laitetyppeille, sähkönsyötöille ja mittauspisteille. Taulukossa 2 on esimerkkinä koottu tärkeimmät ja yleisimmin käytetyt virtojen raja-arvot vaihtosähköllä toimivien CF-tyypin laitteiden suojamaapisteiden, kosketeltavien osien ja potilasliitännöjen testaamiseen. Kaikki raja-arvot on taulukoituna tarkemmin liitteissä 1 ja 2. [3]

Taulukko 2: Standardin IEC-60601-1 vuotovirtatestien raja-arvot vaihtosähköllä toimiville CF-tyypin laitteille. [3]

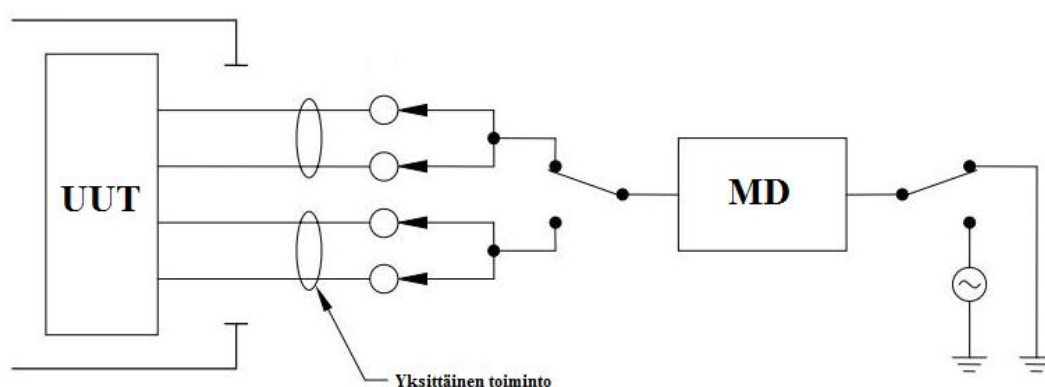
Testauskohde	Sähkön syöttö		Nimitys Standardissa
	Normaali	Katkostilanne	
Kosketeltavat metalliset osat	100 μ A	500 μ A	Touch
Suojamaa	5 mA	10 mA	Earth
Potilasliitännät erikseen	10 μ A	50 μ A	Patient
Potilasliitännät yhdessä	50 μ A	100 μ A	Total Patient
Potilassyöksyvuvovirta	10 μ A	50 μ A	Auxiliary Patient
Metalliset suojamaadoittamattomat potilasliitännät	50 μ A	-	Patient – Special Test Condition
Metalliset suojamaadoittamattomat potilasliitännät yhdessä	100 μ A	-	Total Patient - Special Test Condition

B-tyypin laitteille vuotovirta testataan standardin mukaan kytkemällä jokainen potilasliitäntä yhteen ja mittaamalla vuotovirta yhteen kytketyistä potilasliitännöistä maihin (mittauskytkentä kuvassa 6). [3]



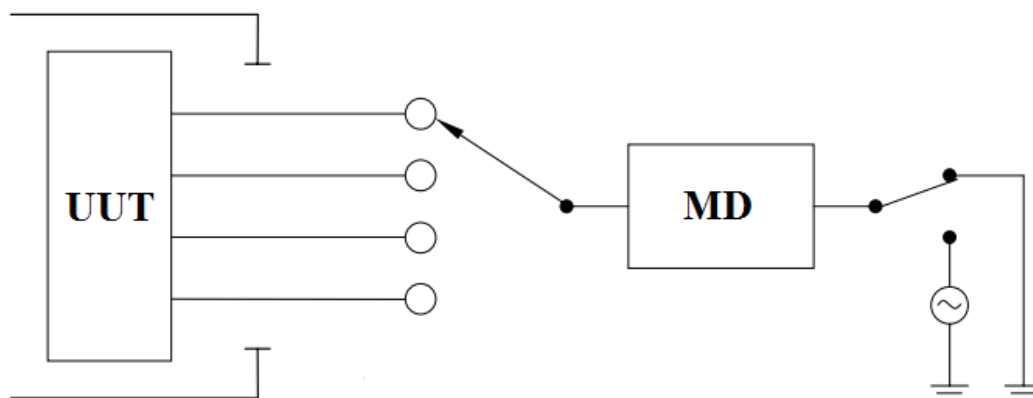
Kuva 6: Kytkentäkaavio B-tyypin laitteiden vuotovirtatestien mittaamiseen. Testauslaitteella (MD) mitataan kaikista potilasliitännöistä yhtä aikaa Testattavan laitteen (UUT) vuotovirta maahan. [3]

BF-tyypin laitteille vuotovirta mitataan taas erikseen jokaisesta potilasliitântä ryhmästä, jolla tehdään samaa toimintoa. Tämä tehdään silloin kun yhden suureen selvittämiseen käytetään useampaa potilasliitântää - tämä voi olla tarpeellista esimerkiksi anestesiaan tarvittavan nukutusaineen määrän tarkkailussa. Mittaukset suoritetaan erikseen jokaisesta potilasliitântäryhmästä maahan sekä laitteen käyttöjännitteestä erikseen jokaiseen potilasliitântäryhmään. BF-tyypin laitteiden mittauskytkentä on esitetty kuvassa 7. [3]



Kuva 7: Kytentäkaavio BF-tyypin laitteiden vuotovirtatestien mittaamiseen. Vuotovirta mitataan jokaisesta potilasliitântäryhmästä erikseen maahan sekä laitteen käyttöjännitteestä erikseen jokaiseen potilasliitântäryhmään. [3]

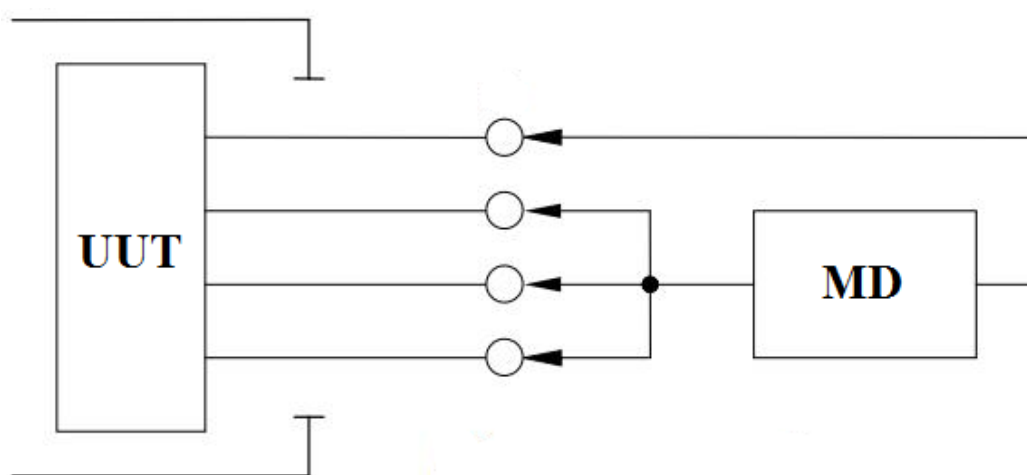
CF-tyypin laitteet taas testataan standardin mukaan mittaamalla erikseen jokaisesta potilasliitännästä vuotovirta maahan sekä laitteen käyttöjännitteestä erikseen jokaiseen potilasliitântään (mittauskytkentä kuvassa 8). [3]



Kuva 8: Kytentäkaavio CF-tyypin laitteiden vuotovirtatestien mittaamiseen.

Vuotovirta mitataan jokaisesta potilasliitännästä erikseen maahan sekä laitteen käyttöjännitteestä erikseen jokaiseen potilasliitäntään. [3]

Potilassyöksyvuotovirtatesti tehdään B-, BF- ja CF-tyypin laitteille ottamalla yksitellen jokainen potilasliitäntä erikseen, liittämällä muut potilasliitännät yhteen ja mittaamalla vuotovirtaa näiden pisteiden väliltä (mittauskytkentä kuvassa 9). [3]



Kuva 9: Kytentäkaavio potilaslaitteiden syöksyvuotovirtatestien mittaamiseen.

Vuotovirta mitataan erikseen jokaisen potilasliitännän ja muiden jäljellä olevien potilasliitäntöjen väliltä. [3]

Suojamaan vuotovirta mitataan suojamaa kelluvana normaalisyötöllä ja kelluvalla vaiheella sekä normaalilla että käänteisellä syötöllä. Metallisten kosketeltavissa olevien ja suojamaadoittamattomien potilasliitännöiden vuotovirrat mitataan vain normaalilla ja käänteisellä syötöllä. Kaikki loput mittaukset suoritetaan kaikilla kuudella aikaisemmin kuvatulla syöttötavalla. [3]

2.2.3 Dielektrinen lujuustestaus

Laitteiden suojaeristykset testataan suurjännitteellä. Testausjännitteet määräytyvät laitteen AC/DC käyttöjännitteen mukaan. Testausjännitteen tehollisarvon määräytyminen voidaan jakaa osiin sen mukaan, onko kyseessä operaattorin vai potilaan suojaus tai käyttö sähkönsyöttö, vai jokin muu metallinen laitteen testauskohde. Laitteelle pitää syöttää testausjännite myös jokaisen liitännän ja maan, sekä jokaisen eri liitännän välille. Myös näissä eri tapauksissa testausjännite on erilainen. Taulukossa 3 on esitetty 230 V ja 120 V laitteiden testausjännitteet eri testauskohteiden mukaan, jolloin testausjännitteet vaihtelevat noin 1 000 V ja 4 000 V välillä. Testausjännitteet löytyvät taulukoituna tarkemmin liitteissä 3 ja 4. [3]

Taulukko 3: Dielektrisen lujuuden mittaamiseen käytettävät testausjännitteet laitteen käyttö sähköön ja testauskohteen mukaan. [3]

Laitteen Käyttö sähkö	Operaattorin suojaus				Potilaan suojaus			
	Sähkönsyöttö		Muut metalliset testauskohteet		Sähkönsyöttö		Muut metalliset testauskohteet	
	Maata vasten	Liitännöiden väliltä	Maata vasten	Liitännöiden väliltä	Maata vasten	Liitännöiden väliltä	Maata vasten	Liitännöiden väliltä
120 V	1 000 V	2 000 V	897 V	1 438 V	1 500 V	3 000 V	1 000 V	2 000 V
230 V	1 500 V	3 000 V	1 214 V	1 942 V	1 500 V	4 000 V	1 500 V	3 000 V

Kun testausjännite on nostettu puoleen arvoonsa, täytyy sitä nostaa vähintään 10 s ajan täyteen arvoonsa ja pitää päällä vähintään 1 min ajan. Sen jälkeen sitä tulee laskea vähintään 10 s ajan puoleen arvoonsa ja lopulta laskea nolleen. Testatessa

ei saa tapahtua läpilyöntiä. Läpilyönti katsotaan tapahtuneeksi, kun virta alkaa käyttäytyä yhtäkkiä hallitsemattomasti eikä eristys rajoita sen kulkua. Korona purkaus tai yksittäinen kipinä ei tarkoita läpilyöntiä. Mittausrajaksi aseteltava yläraja virralle asetellaan siis testattavan laitteen ominaisuuksien mukaan. [3]

2.3 EN-50191 – Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö

EN-50191 määrittelee, miten testauslaitteisto ja sen ympäristö pitää rakentaa, jotta testaaja olisi suojattu laitteiston jännitteisiltä osilta. Standardia sovelletaan, kun laitteiston käyttöjännite ylittää 25 V vaihtosähköllä tai 60 V tasasähköllä. Standardi jakautuu kahteen osaan: asentamiseen ja käyttöön. Tämän testausjärjestelmän suunnittelussa sovellettiin ensiksi mainittua. [4]

Standardi määrittelee kielletyn alueen, jonka sisällä on vaarana saada sähköisku. Tälle vaaralliselle alueelle pääsy on estettävä. Etäisyys vaarallisesta jännitteestä määräytyy suurimman vallitsevan jännitteen mukaan. Kun väliaineena on ilma, etäisyys jännitteisiin osiin täytyy 1 000 kV:lla olla vähintään 9,9 m. Vaadittava etäisyys lyhenee suhteellisen lineaarisesti niin, että pienemmillä jännitteillä kuin 1 kV jännitteisiin osiin koskeminen on pelkästään kielletty (liite 5). Standardin mukaan testausalue on suojattava aitauksella, joka estää pääsemästä kielletylle alueelle ja koskemasta testauslaitteiston käyttölaitteisiin. Laitteistossa ja alueella on oltava merkkivalot, jotka ilmoittavat toimintatilanteen ja varoituskilvet, jotka varoittavat vaarallisista jännitteistä. Lisäksi laitteistossa on oltava hätäkytkin, jota painamalla vaaralliset jännitteet voidaan katkaista. Testauslaitteistolle, jossa on automaattinen kosketussuojaus, on standardissa määritelty lievemmät suojaukset. Tällöin jännitteisiin osiin ei ole mahdollista koskea testauslaitteiston ollessa päällä. Kun testauslaitteistossa on automaattinen kosketussuojaus, aitaukset ja hätäkytkimet voidaan jättää pois. [4]

2.4 Muut standardit

Lääketieteellisten laitteiden testaukseen sovellettavia maakohtaisia standardeja ovat esimerkiksi:

- ANSI/AAMI-ES1-1993 (American National Standards Institute/Association for the Advancement of Medical Instrumentation), Turvalliset virtarajat sähköisille lääketieteellisille laitteille, amerikkalainen standardi.
- UL-60601-1:2003, IEC-standardia tarkentava amerikkalainen standardi.
- CAN/CSA-C22.2 NO. 60601-1, IEC-standardia tarkentava kanadalainen standardi.

Maakohtaiset standardit määrittelevät lisävaatimukset maahantuotaville sähköisille, lääketieteellisille laitteille. Ne voivat esim. tiukentaa tai tarkentaa vaatimuksia vuotovirtamittauksien virtaraja-arvojen osalta.

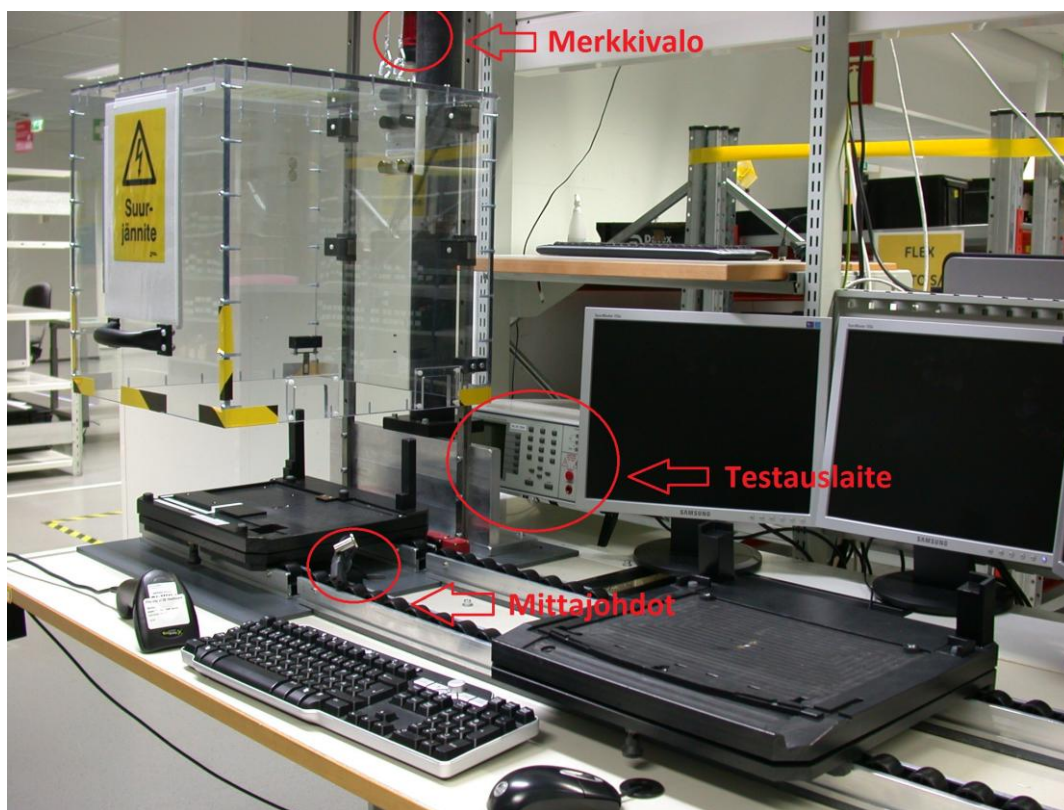
Tuotannon testaukseen IEC-60601 standardia sovelletaan EN-50116:1996 mukaisesti. Standardi löyhentää mittausvaatimuksia tuotannossa.

Suojamaadoituksen impedanssin testauksessa ei tarvitse käyttää tuotannossa kuin vähintään 1,5-kertaista virtaa kyseisen piirin suurimpaan määritettyyn virtaan nähden; virran ei kuitenkaan tarvitse ylittää 25 A. Dielektrisen lujuuden testauksessa taas testausjännitettä ei ole tarpeen pitää tuotannossa päällä kuin 1-6 s. [5]

3 Testausjärjestelmän laitteisto

3.1 Testausympäristö

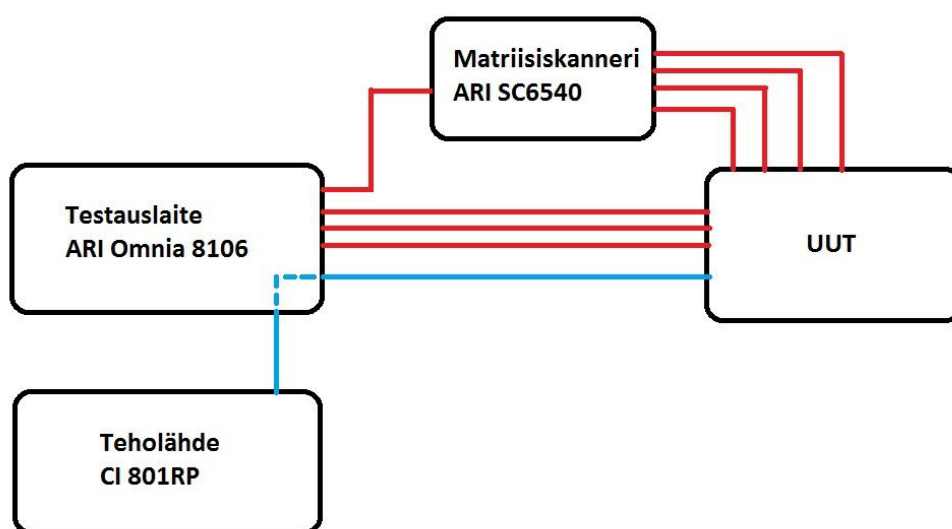
Testauspaikan pöydälle asennettiin eristävä matto ja testattavalle tuotteelle kelkka, joka liikkuu kiskoilla (kuva 10). Tuotteeseen kytkettäville kaapeleille porattiin reiät pöydän läpi. Testattavan laitteen kytkeminen järjestelmään kestää noin 30 s. Testattavan tuotteen päälle asennettiin kiskoilla ylös nostettava eristävä kotelo, joka sallii käyttösähkön syöttämisen testauslaitteelle vasta kun kotelo on laskettu alas. Tällöin automaattisen kosketussuojauksen ehdot täyttyvät, eivätkä jännitteet pääse johtumaan ympäristöön. Testauspaikalle asennettiin punainen merkkivalo, joka palaa, kun testauslaitteeseen on kytketty virta. Vaarallisista jännitteistä varoittava varoituskilpi kiinnitettiin myös suojakoteloon.



Kuva 10: Sähköturvallisuustestausta varten rakennettu testauspaikka. Kuvassa näkyvät merkkivalo, suojakotelo, varoituskilpi, kiskoilla liukuva kelkka, tuotteeseen liitettävät mittajohdot, testauslaite, tietokoneen näytöt ja oheislaitteet.

3.2 Järjestelmään tarvittavat laitteet

Järjestelmä on tietokoneohjattu ja se pitää sisällään Associated Research Inc. (ARI) Omnia 8106 sähköturvallisuustestauslaitteen, ARI SC6540 matriisiskannerin ja California Instrumentsin (CI) 801RP teholähteen. Järjestelmän kaaviokuva on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11: Sähköturvallisuusjärjestelmän kaaviokuva. Kuvassa mittajohdot on merkitty punaisella ja sähkönsyöttö sinisellä. Kuvassa UUT on testattava laite (Unit Under Test).

Omnia 8106 syöttää testattavalle tuotteelle jännitteet ja virrat sekä mittaa tarvittavat suureet. Siihen on sisään rakennettu standardien mukaiset mittaustimet sähköturvallisuustestaukseen, sekä lisäksi testattavalle laitteelle syötettävän sähköön kulutustestit, eristysresistanssitestit ja jatkuvuustestit. SC6540 matriisiskannerilla voidaan kytkeä testausjännitteitä ja virtoja testattavan laitteen eri testauspisteisiin. Teholähdettä käytetään syöttämään käyttöjännitteet testattavalle laitteelle sähkönkulutus- ja vuotovirtatesteissä. [6-8]

Järjestelmällä voidaan mitata seuraavat testit:

- Dielektrinen lujuustesti
- Suojamaadoituksen impedanssitesti
- Vuotovirtatesti
- Sähkönkulutustesti
- Eristysresistanssitesti
- Jatkuvuustesti

Syötettävän sähkön kulutustestissä mitataan syötettävän sähkön jännite, virrankulutus, vuotovirta, tehonkulutus ja tehokerroin. Dielektrisen lujuuden testissä mitataan läpilyöntivirta ja suojamaadoituksen impedanssitestissä testipisteen ja suojamaan välinen resistanssi. Vuotovirtatestissä taas mitataan vuotovirtoja eri testipisteiden välillä. Eristysresistanssitesti on dielektrisen lujuustestin kaltainen, mutta siinä mitataan läpilyöntivirran sijaan eristysresistanssia. Jatkuvuustesti on taas suojamaadoituksen impedanssitestin kaltainen, mutta siinä käytetään tasavirtaa. Testauslaitteen tarkkuudet on ilmoitettu taulukossa 4 alueille, joissa niitä käytetään GE Healthcare Finland Oy:n tuotantolinjoilla. [6]

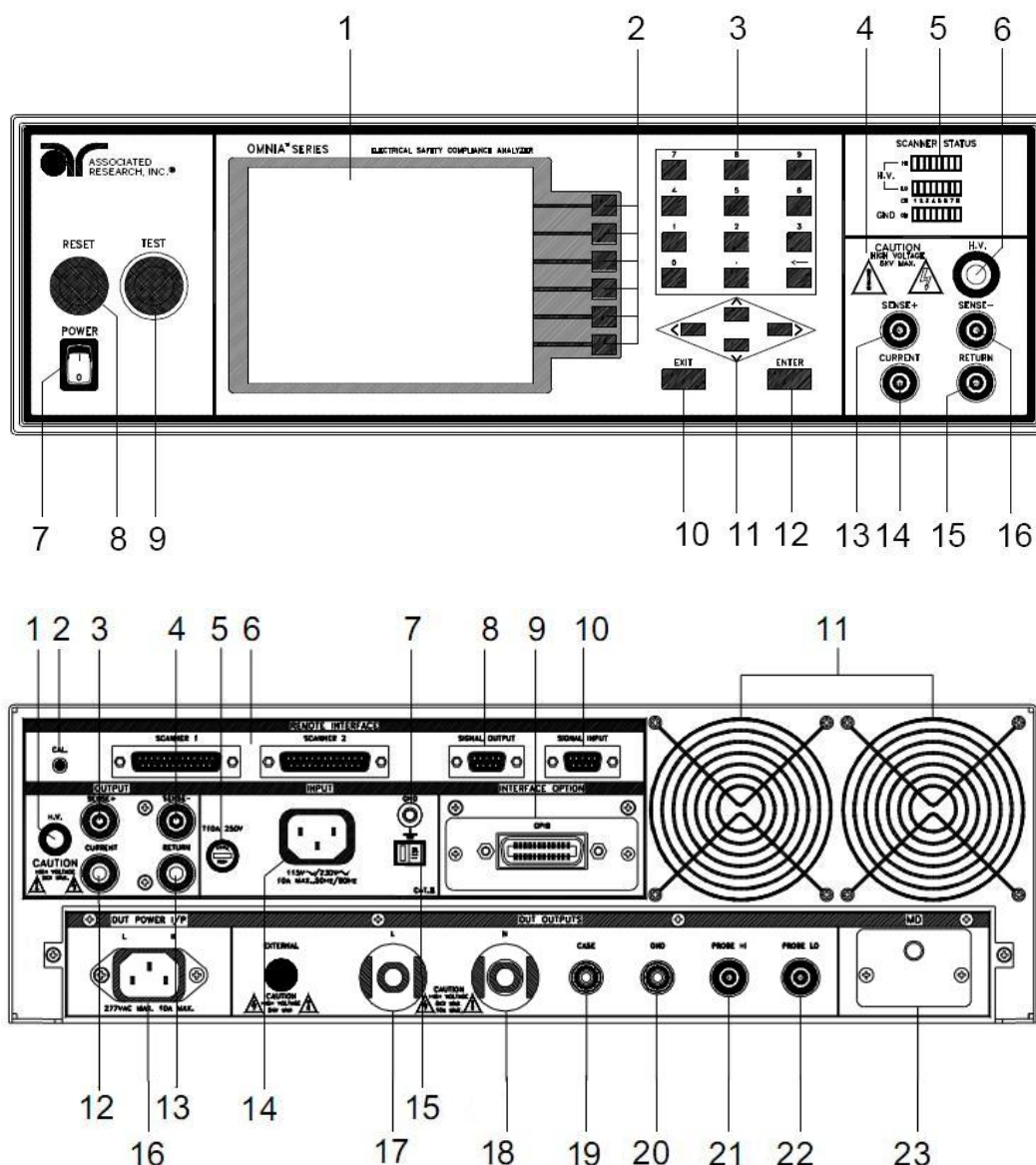
Taulukko 4: Testausjärjestelmän syöttöjen ja mittausten tarkkuudet.

Sähkönsyöttötestin syötön tarkkuudet määräytyvät teholähteen 801RP mukaan ja kaikki muut tarkkuudet Omnia 8106 testauslaitteen mukaan. [6, 8]

Testi	Syöttö			Mittaus		
	Alue	Resoluutio	Epävarmuus	Alue	Resoluutio	Epävarmuus
Dielektrinen lujuus AC – Kokonais	0-5 000 V	1 V	$\pm(2 \% + 5 \text{ V})$	0-40 mA	1 μA	$\pm(2 \% + 2 \mu\text{A})$
Dielektrinen lujuus AC - Reaaliosa						$\pm(3 \% + 50 \mu\text{A})$
Dielektrinen lujuus DC				0-20 mA		$\pm(2 \% + 2 \mu\text{A})$
Eristysresistanssi DC	50-1 000 V	1 V	$\pm(2 \% + 2 \text{ V})$	0-50 G Ω	10 k Ω	$\pm(2 \% + 20 \text{ k}\Omega)$
Suojamaadoituksen impedanssi AC	1-40 A	0,01 A	$\pm(2 \% + 0,02 \text{ A})$	0-600 m Ω	1 m Ω	$\pm(2 \% + 2 \text{ m}\Omega)$
Jatkuvuus DC	0,1 A	-	$\pm 0,01 \text{ A}$	0-10 Ω	0,01 Ω	$\pm(3 \% + 20 \text{ m}\Omega)$
Sähkönsyöttö - Jännite	0-277 V	0,1 V	$\pm 1 \%$	0-277 V	0,1 V	$\pm(2 \% + 0,2 \text{ V})$
Sähkönsyöttö - Virta	0-3 A	0,01 A	$\pm 5 \%$	0-15 A	10 mA	$\pm(2 \% + 20 \text{ mA})$
Sähkönsyöttö - Taajuus	16-500 Hz	0,1 Hz	$\pm 0,02 \%$	-	-	-
Sähkönsyöttö - Teho	0-800 W	-	-	0-4,2 kW	1 W	$\pm(5 \% + 3 \text{ W})$
Sähkönsyöttö - Tehokerroin	-	-	-	0-1	0,001	$\pm(8 \% + 0,002)$
Sähkönsyöttö - Vuotovirta	-	-	-	0-10 mA	10 μA	$\pm(2 \% + 20 \mu\text{A})$
Vuotovirta	-	-	-	0-6 mA	0,1 μA	$\pm(1,5 \% + 0,3 \mu\text{A})$

3.3 Laitteiden kytkennät

Tietokoneella ohjataan järjestelmän testauslaitetta sekä optiona käytettäviä teholähdettä ja päämatriisiskanneria RS232-väylän kautta. Testausta voidaan seurata tietokoneen näytön lisäksi testauslaitteen etupaneelist, jonka osat on esitetty kuvassa 12.



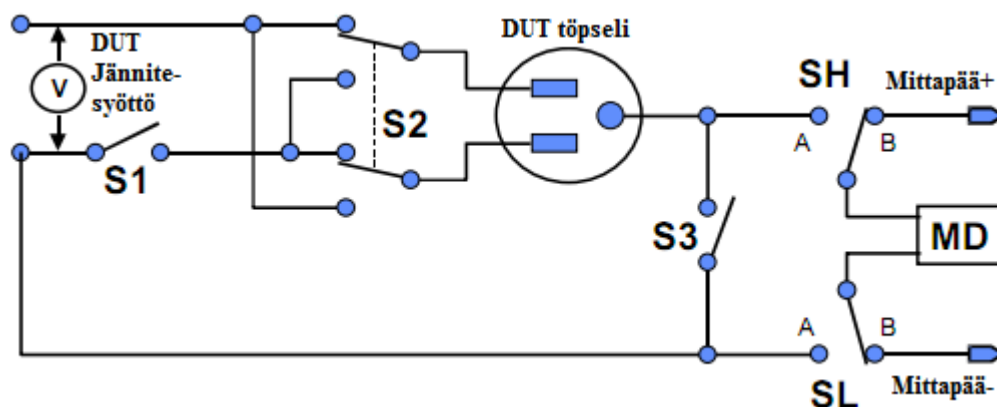
Kuva 12: Associated Research Inc:n Omnia 8106 testauslaitteen etu- ja takapaneeli. Numeroitujen osien selitykset on esitetty liitteissä 6 ja 7. [6]

Dielektrisen lujuuden ja eristysresistanssin testauksessa syötetään jännite HV- ja Return-liittimen (kuva 12, takapaneelin liittimet 1 ja 13) välille tai lisäksi myös Line- ja Case-liittimen (liittimet 17 ja 19) välille valinnan mukaan.

Suojamaadoituksen impedanssin ja jatkuvuuden testeissä virta syötetään Current-liittimestä (liitin 12) testattavan laitteen kautta Return-liittimeen ja GND-liittimestä (liittimet 13 ja 20) testattavan laitteen kautta Case-liittimeen.

Vuotovirran ja sähkönkulutuksen testauksessa testattavalle laitteelle syötetään käyttöjännite Line-, Neutral- ja GND-liittimistä (liittimet 17, 18 ja 20). [6]

Kuvan 13 kytkimillä S1, S2 ja S3 saadaan simuloitua sähkönsyötön katkos- ja käänteistilanteet vuotovirtatesteihin: S1:llä saadaan aikaan kelluva vaihe, S2:lla kelluva suojamaa ja S3:lla käänteinen syöttö. [6]

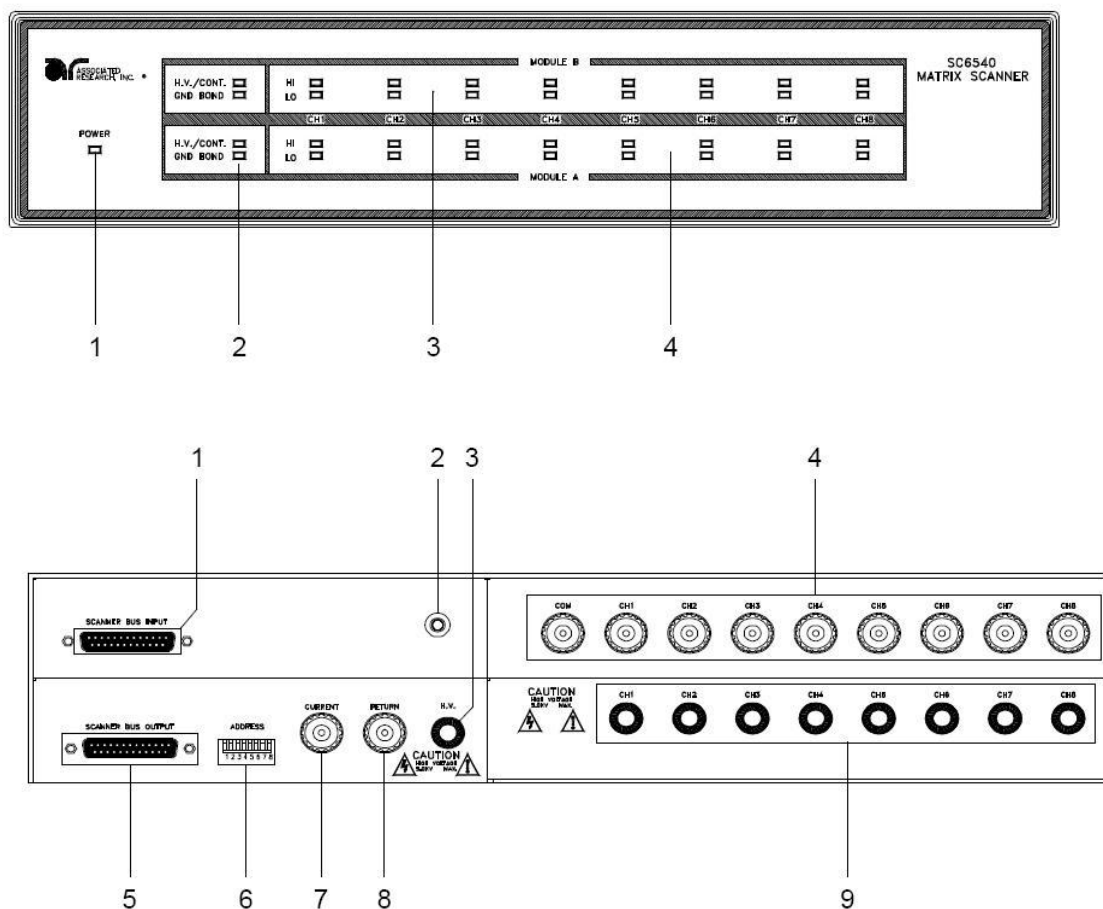


Kuva 13: Testauslaitteen kytkentäkaavio vuotovirtatestien sähkönsyötön katkoksen simulointiin (S1, S2 ja S3) ja mittapään kytkemiseen (SH ja SL). [6]

Vuotovirran testauksessa mitataan virta valinnan mukaisesti joko Probe HI ja Probe LO -liittimien (kuva 12, takapaneelin liittimet 21 ja 22) väliltä (potilassyöksyvutovirtatestausta), Probe HI -liittimen ja Line-liittimen väliltä (potilas- ja kotelovuotovirtatestausta) tai GND- ja Line-liittimen (suojaamaan vuotovirtatestausta) väliltä. Tämä vuotovirran mittapäiden asento voidaan valita kuvan 13 kytkimien SH- ja SL-vaihtoehdoilla A ja B. [6]

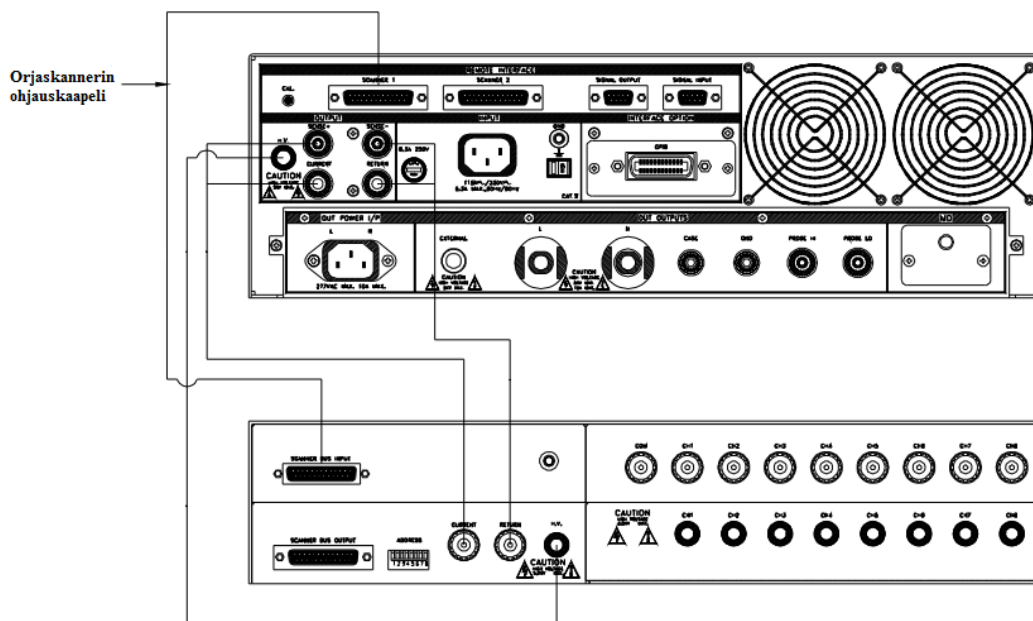
Dielektrisen lujjuustestin virta ja eristysresistanssitestin resistanssi mitataan Return-liittimestä tai lisäksi Case-liittimestä valinnan mukaan.

Sähkönkulutustestissä kaikki tulokset mitataan Line- ja Neutral-liittimien väliltä paitsi vuotovirran mittausta, jossa mitataan virtaa Line-liittimestä GND-liittimeen. Suojamaadoituksen impedanssitestissä ja jatkuvuustestissä resistanssi mitataan kahden liitinparin väliltä: Sense+ ja Sense- (liittimet 3 ja 4) sekä GND ja Case. [6]



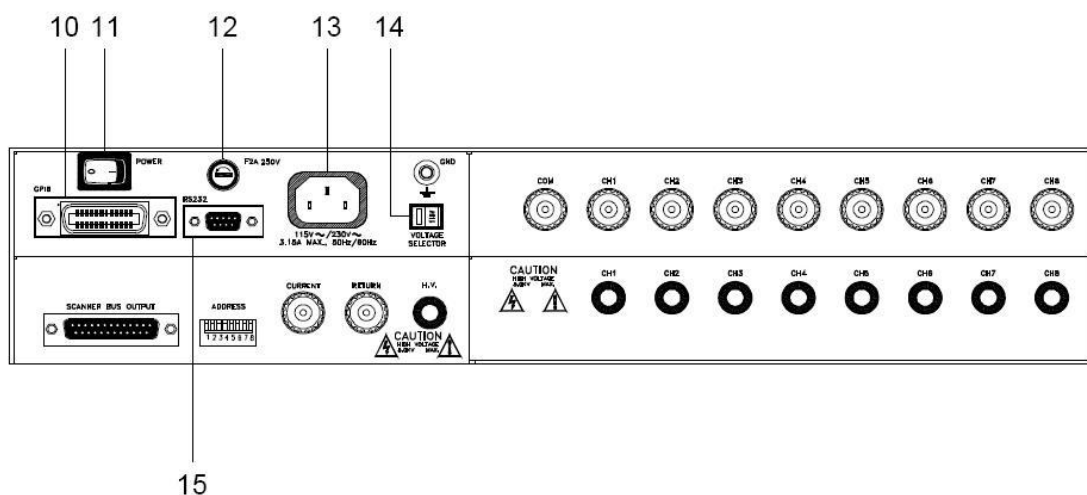
Kuva 14: Associated Research Inc:n SC6540 orjamatriisiskannerin etu- ja takapaneeli. Numeroitujen osien selitykset on esitetty liitteissä 8 ja 9. [7]

Matriisiskanneri on järjestelmässä optiona ja sitä ohjataan RS232-väylän kautta. Kytettyjä kanavia vastaavat merkkivalot syttyvät testauksen aikana, ja matriisiskannerin takapaneelin Current-, Return- ja HV-liittimistä (kuva 14, takapaneelin liittimet 3, 7 ja 8) kytetään johdot testauslaitteen samannimisiin liittämiin. Orjamatriisiskanneri liitetään testauslaitteeseen kuvan 15 mukaisesti. Kanavista 1-8 (CH1-CH8) kytetään kaapelit testattavalle tuotteelle.



Kuva 15: Orjamatriisiskannerin kytkeminen testauslaitteeseen. [7]

Päämatriisiskanneri (kuva 16) kytketään vastaavalla tavalla, mutta ohjaus ei tapahdu testauslaitteen kautta skanneriliittimien avulla vaan päämatriisiskanneria ohjataan omalla RS232-väylällään. [7]

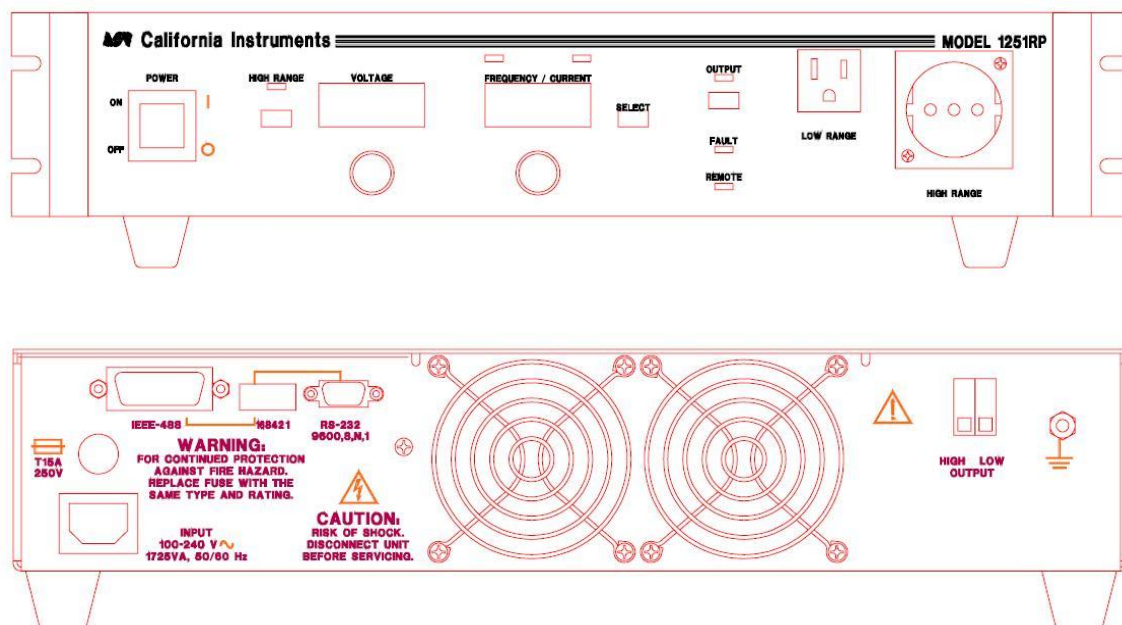


Kuva 16: Associated Research Inc:n SC6540 päämatriisiskannerin etu- ja takapaneeli. Numeroitujen osien selitykset on esitetty liitteessä 10. [7]

Teholähde on järjestelmässä optiona ja sitä ohjataan RS232-väylän kautta.

Laitteella annetaan testattaessa testauslaitteen kautta testattavalle tuotteelle oma sähkönsyöttö jännite sekä vuotovirtaa että sähkönsyöttöä testattaessa. [8]

Teholähteen etupaneelissa kuvassa 17 on vasemmalta katsottuna virran ON/OFF kytkin (Power), jännitealueen ilmaisin (High Range, 0-135/0-277V), asetetun jännitteen ja taajuuden/virtarajan 7-segmenttinäytöt (Voltage ja Frequency/Current) ja pyöritettävät säätimet niiden asetukseen. Taajuus/virtarajanäytön yläpuolella on kaksi LED-valoa, jotka ilmaisevat, onko näytössä taajuuden vai virtarajan arvo. Valinta-näppäimellä (Select) voidaan tehdä valinta näiden kahden vaihtoehdon välillä. Ulostulon kytkimellä (Output) kytketään jännite oikealla oleviin sähköpistokkeisiin, joista ensimmäinen on (Low Range) US NEMA 5-15P -pistoke ja jälkimmäinen (High Range) European CEE7/7 -pistoke. Ensimmäinen pistoke toimii Low Range -moodissa ja jälkimmäinen pistoke High Range -moodissa. Virheindikaattori (Fault) palaa, jos laitteen arvojen asettamisessa on tapahtunut virhe ja etäohjausindikaattori (Remote) palaa, jos laitetta ohjataan esimerkiksi RS232-väylän kautta. [8]



Kuva 17: California Instrumentsin 1251/801RP teholähteen etu- ja takapaneeli.
[8]

Teholähteen takapaneelissa (kuva 17) on 100-240 V 50/60 Hz sähkönsyöttö laitteelle vasemmalla alhaalla ja vasemmalla ylhäällä IEEE-488 ja RS232 ohjelmointi- ja ohjausväylät. Näiden välissä sijaitsee laitteen 15 A sulake. Laitteen tuulettimet ovat keskellä takapaneelia ja oikeassa reunassa on High ja Low range ulostulojen estokytkimet ja suojamaa-liitin. [8]

4 Testausjärjestelmän ohjelmisto

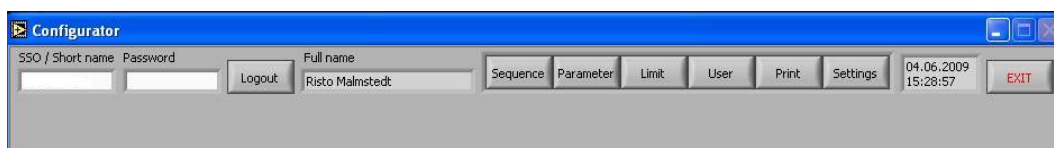
Järjestelmän ohjelmistossa on kaksi pääosaa: Testijonoeditori ja testaussekvensseri. Testijonoeditorilla voidaan luoda ja muokata testijonoja, joita voidaan ajaa kullekin laitteelle testaussekvensserillä. Ohjelmistolla voidaan tehdä kaikkia Omnia 8106 testauslaitteen testejä. Sillä voidaan myös tulostaa testien Testausparametrit ja -raportit.

4.1 Testijonoeditorin kuvaus

Testijonoeditorin käyttö on salasanasuojattu. Se on ohjelmoitu LabVIEW ohjelmointikielellä. Editori on jaettu kuuteen eri osaan:

- **Sequence:** Testijonojen ja -askelien muokkaamiseen.
- **Parameter:** Omnia 8106 testauslaitteen parametrien käsittelyyn.
- **Limit:** Testausrajojen ylläpitoon.
- **User:** Käyttäjien oikeuksien muuttamiseen.
- **Print:** Testausparametrien ja -raporttien katseluun ja tulostamiseen.
- **Settings:** Muiden sekalaisten asetusten ylläpitoon.

Kun editori käynnistetään, avautuu kuvan 18 mukainen näkymä ja käyttäjät, joille on ohjelmalla annettu käyttöoikeudet, voivat kirjautua sisään käyttäjätunnuksellaan ja salasanallaan. Tämän jälkeen toiminnalliset osat valitaan keskellä olevilla painonapeilla.



Kuva 18: Testijonoeditorin alkunäkymä käynnistyksen jälkeen.

4.1.1 Sekvenssi-osio

Sekvenssi-osio (Sequence) on jaettu kahteen osaan: Device ja Step, kuten kuvassa 19 näkyy.

Device-osiossa on testijonon yleiset asetukset kuten testijonon nimi, versio, valintamaski, sähkönsyötön asetukset, sähkönsyötön testin valinta ja testijonon infoikkunan teksti.

Step-osiossa taas on testiaskeleen asetukset kuten testin nimi, versio, testityyppi, portti, käytettävät testauslaitteen parametrit ja testausrajat, testipisteen nimi, ennen testiä tulevan infoikkunan teksti ja mahdollisuus option nimeämiseen.

Molemmissa osioissa on painonapit uuden tallenteen aloittamiseen, tallentamiseen ja poistamiseen. Add- ja Delete-painonapeilla voidaan lisätä testiaskelia testijonon testilistaan ja poistaa testiaskelia testijonon testilistalta. Device-osion Remove empty -painonapilla poistetaan kaikki testijonot, joihin ei ole tallennettuna yhtään testiaskelia ja Remove unused -painonapilla kaikki testiaskeleet, joita ei ole lisätty mihinkään testijonoon.

The screenshot shows the 'Configurator' application window. It has a menu bar with 'Sequence', 'Parameter', 'Limit', 'User', 'Print', and 'Settings'. The top status bar shows the date '04.06.2009' and time '15:33:06'. The main interface is divided into several sections:

- Device Section:** Includes fields for 'Device *', 'Device version *' (set to 1), 'Mask *', 'Outlet/Supply', 'Power', 'Vols (0-277V)', 'LLT & RUN', 'Freq (16-500Hz)', 'Curr (0-6A)', and 'Delay (1-999s)'. It also has a 'Steps *' list with items '001 ACWrt', '002 GND', '003 LLTe', and '004 LLTt'. A 'Device Saved by' field shows 'Risto Malmstedt - 29.05.2009 11:54:09'.
- Step Section:** Includes 'Step *' (set to 'ACWrt'), 'Step version *' (set to 1), and 'Step Parameters' with fields for 'Operation *', 'Port', 'Parameter', 'Limit', 'Point Name', 'User Option', 'Max AckTry', and 'Max AutoTry'. It also has 'Step Saved by' and 'Step Comments' fields.
- Table Section:** A table with columns: Step, Operation, Port, Parameter, Limit, Point, Option, Info box, AckTry, AutoTry, Version, and Specific. It contains data for steps 001 through 004.
- Other Sections:** Includes 'Device Comments', 'Redefine Attribute(s)', 'RUN' section with 'Parameter' and 'Limits' (LO, HI), and 'Infobox' with the text 'Kytke johdot kiinni monitoriin'.

Kuva 19: Testijonoeditorin testijonon ja -askelten editointinäkymä. Kuvan vasen puolisko on Device-osio ja oikea puolisko Step-osio.

Device-osiossa testijonon valintamaskiin (Mask) annetaan tarvittava määrä merkkejä, joiden perusteella käyttäjän syöttämästä testattavan laitteen sarjanumerosta tai laitteenimestä tehdään päätelmä, mikä testijono kyseiselle laitteelle kuuluu. Valintamaski voi sisältää ?- ja *-jokerimerkkejä.

Sähkönkytön asetukset tulee antaa, jos testijonossa on vuotovirta- tai laitteen sähkönkytön testi. Asetuksissa voidaan valita syötetäänkö testattavalle laitteelle sähkö pistokkeesta vai erilliseltä teholahteelta. Teholahteelle määritettävät parametrit ovat testausjännite, -taajuus, -virtaraja ja -viive. Vuotovirran ja sähkönkytön testeille voidaan antaa omat testausjännitteensä.

Redefined Attributes kentillä voidaan määritellä testijonon testausvaiheessa testiaskelien parametreja uudelleen.

Sähkönsyötön testin (RUN) valinnasta avautuvat asetukset, joihin syötetään tallennetun testauslaitteen asetuksien nimi sekä voidaan valita testiin käyttöjännitteen, virrankulutuksen, vuotovirran, tehonkulutuksen ja tehokertoimen mittausta joko ilman rajoja tai rajojen kanssa.

Step-osiossa testiaskelen testityypiksi voidaan valita aikaisemmin kuvatut: Jatkuvuus (CON), suojamaadoituksen impedanssi (GND), dielektrinen lujuus (ACW ja DCW), eristysresistanssi (IR) ja vuotovirta (LLT). AC dielektrisen lujuuden testille voidaan valita tarkenteet r, t tai rt, jotka kertovat, mitataanko läpilyöntivirrasta reaaliasa (real) vai kokonaisarvo (total). Vuotovirran tarkenteet kuvaavat standardin eri testityyppejä: e (earth) maavuotovirta, p (patient) potilasvuotovirta, pa (patient auxiliary) potilassyöksyvuotovirta, stcp (special test condition patient), stctp (special test condition total patient), t (touch) kotelovuotovirta ja tp (total patient) kokonaispotilasvuotovirta. Vuotovirta-testiaskel pitää sisällään kaikki aikaisemmin esiteltyt kullekin vuotovirtatypille tarvittavat 2-6 sähkönsyötön katkoksia simuloivat tilat. Ainoastaan testaustyyppi on pakollinen parametri testiaskeleelle.

Testauslaitteen portti kertoo matriisiskannerille annettavan kanavan arvon. Suojamaadoituksen impedanssin ja eristysresistanssin testeille annettavan portin arvo voi olla 0-8, jossa 0 tarkoittaa, että mitään matriisiskannerin porttia ei käytetä. Dielektrisen lujuuden, jatkuvuuden- ja vuotovirran testeille annetaan kaikkien kanavien arvo yhtäaikaan. Kanavia on 8 ja ne voidaan asettaa joko high (H), low (L) tai open (O) -tilaan, esimerkiksi HOOLOOOO.

Testipisteen nimi (Point name) on tarkoitettu erottelemaan testiraporttiin samanlaiset, eri testipisteille tehdyt testit toisistaan. Option nimi (User option) annetaan testiaskeleelle, jos halutaan, että operaattori saa valita tehdäänkö testi. Näin voidaan toimia esimerkiksi, jos laitetyypin tai sarjanumeron perusteella ei voida päätellä, tehdäänkö testi.

Askelkohtaiset parametrit antavat mahdollisuuden antaa testiaskeleelle testauslaitteen parametreja askeltasolla, jolloin askeleeseen tallennetun

parametritaulukon arvot ylikirjautuvat. Askelkohtaiset parametrit on tarkoitettu testiaskeleille, joissa tietyt parametrit ovat testattavasta laitteesta riippuvia.

4.1.2 Parametri- ja Raja-osiot

Parameter-osio (Testauslaitteen asetukset) ja Limit-osio (Testausrajat) ovat lähes samantyyppiset (kuva 20). Molemmissa valitaan ensiksi testityyppi, jonka arvoja halutaan käsitellä. Molemmille annetaan lisäksi nimi, versio ja arvot.

Testausrajoille annetaan jokaisen arvon kohdalle sekä ylä- että alaraja.

Molemmissa osioissa on painonapit uuden tallenteen aloittamiseen, tallentamiseen ja poistamiseen.

Targets	Values *	Ranges
Arc	5	1-9
Arc-Detect (Off&On)	1	0&1
Continuity (Off&On)	0	0&1
Dwell (s)	5	0.4-999.9
Frequency (50&60Hz)	0	0&1
Ramp-down (s)	2	0.1-999.9
Ramp-up (s)	2	0.0-999.9
DUT-output Vol. (Off&On)	1	0&1
Voltage (V)	1500	0-5000

Targets	Low	Values *	High	Ranges
NC (uA)	0	10		0.0-6000
OS (uA)	0	50		0.0-6000
OE (uA)	1	50		0.0-6000

Kuva 20: Testausparametrien (ylempi kuva) ja testausrajojen (alempi kuva) editointinäkymät.

4.1.3 Käyttäjä-osio

User-osiossa (Käyttäjä) voidaan lisätä käyttäjille oikeus käyttää testijono editoria. Osiossa on painonapit uuden tallenteen aloittamiseen, tallentamiseen ja poistamiseen. Lisäksi on jätetty tulevaisuuden varalle mahdollisuus luoda ja poistaa ryhmiä, joita voitaisiin käyttää esimerkiksi testaamisoikeuksien valvomiseen.

4.1.4 Tulostus-osio

Print-osiossa (Tulostus) voidaan tarkastella ja tulostaa testiraportteja ja -asetuksia avaamalla testiraporttitiedosto tai valitsemalla asetustaulukon nimi (Parameter ja Limit). Liitteissä 11 ja 12 on esitetty esimerkkitulosteet testiraportista ja asetustaulukosta.

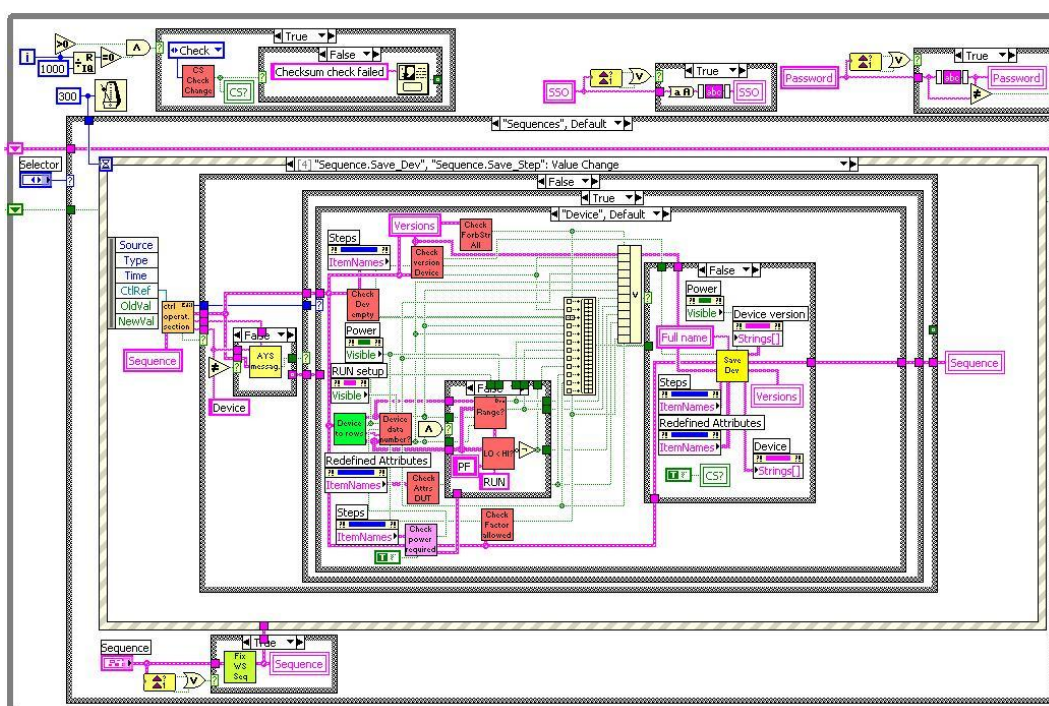
4.1.5 Asetukset-osio

Settings-osiossa (Asetukset) voidaan tallentaa sekalaisia asetuksia sekä testauslaitteelle että tietokoneelle. Arvot on myös mahdollista lukea ja tiedoston tarkistussumma korjata. Testauslaite voidaan myös alustaa valmiiksi testaamista varten. Tiedostoon tallennettavia arvoja ovat sekvensserin ja editorin infoteksti, testausraporttitiedostojen hakemistopolku, testauslaitteen ja teholähteen ohjaamiseen tarvittavan portin nimi, testauslaitteen, teholähteen, matriisiskannerin ja asetustaulukon infoteksti raporttiin sekä salasana tiedoston hakemistopolku.

4.2 Testijonoeditorin ohjelmointi

Testijonoeditorin ohjelmoinnissa käytettiin tilakonetta editorin osioiden eri tapahtumia varten. Sequence-editorin testijonon tallennustapahtuma on esitetty

kaaviokuvana kuvassa 21, jossa oleellisimpana erottuu While-silmukan sisällä Case-rakenne tilakoneen tiloja varten ja Event case-funktio eri tapahtumia varten. Tilakoneen tiloissa on Sequence, Parameter, Limit, Print, User ja Settings -tilojen lisäksi alkutila, jossa alustetaan kaikki kentät ja kysytään käyttäjätunnusta ja salasanaa. Eri tapahtumat, kuten tallennus ja testijonon nimen muutos, tehtiin Event case -funktion avulla, joka osaa indikoida eri kenttien, painonappien ym. muutoksia.

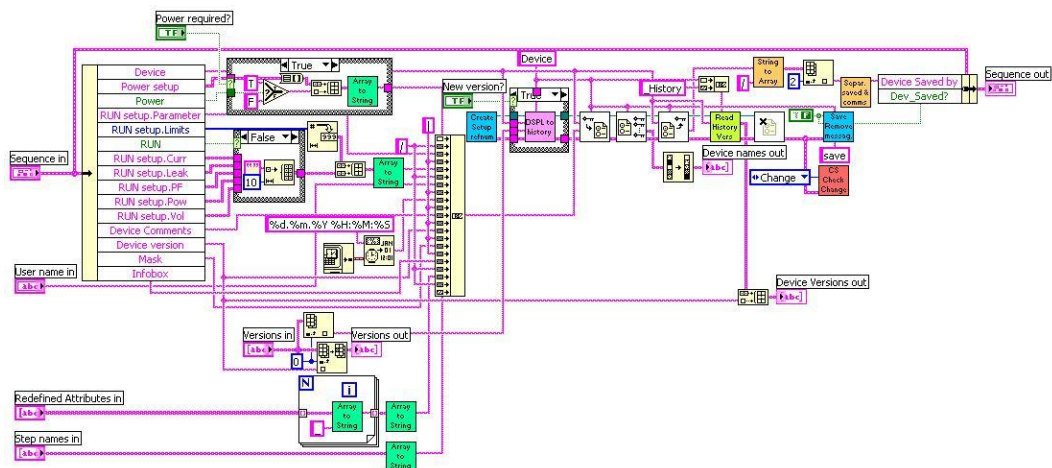


Kuva 21: Testijonon tallennuksen kaaviokuvan päänäkökulma testijonoeditorissa esimerkkinä ohjelmoinnin sisäkkäisistä rakenteellisista osista: While-silmukka, case-rakenne tilakoneena sekä Event case-funktio eri tapahtumille.

Testijonojen, testausasetusten ja muiden asetusten tallentamiseen käytettiin ns. ini-formaattia, jossa tiedot on jaettu osa-alueisiin sektioiden avulla ja sektioiden alle eri parametreihin on tallennettu tarvittavia arvoja.

Kuvassa 22 on esitetty esimerkkinä testijonon tietojen tallennus, jossa ensin kootaan testijonodata yhdeksi muuttajaksi, jossa erottimina käytetään | ja / merkkejä. Seuraavaksi siirretään tarvittaessa testijonon vanha versio Device_History-sektioon. Sen jälkeen tallennetaan Device-sektioon testijonon

nimen parametrille koottu data. Tämän jälkeen päivitetään ohjelman alasvetovalikot testijonon nimi ja versio -kentille, sekä kirjoitetaan uusi arvo tallennuksen päivämäärä ja tekijä -kenttään. Lopuksi korjataan tiedoston tarkistussumma, sytytetään tallennuksen osoittava indikaattori ja näytetään ilmoitus tallennuksen onnistumisesta/epäonnistumisesta.

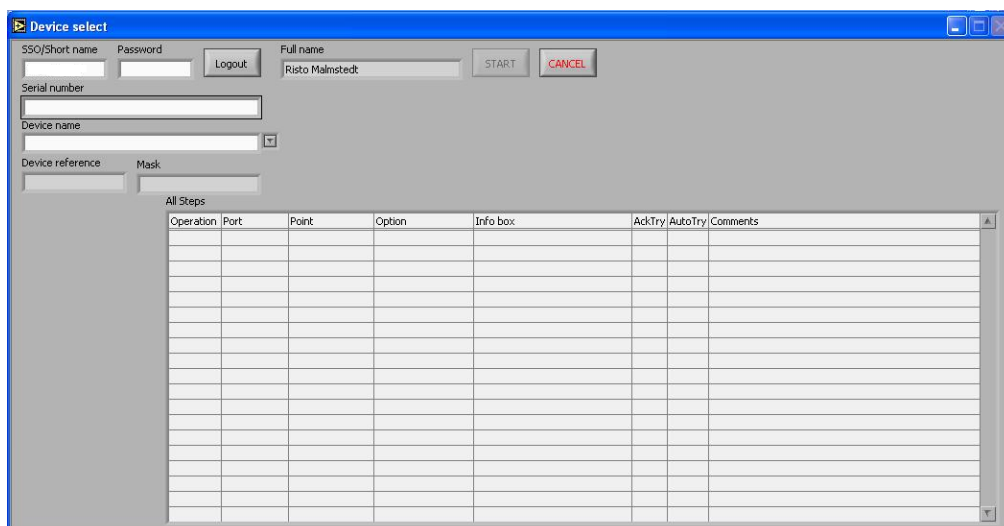


Kuva 22: Testijonon tallennuksen kaaviokuva esimerkkinä tietojen tallennustavasta tiedostoon.

4.3 Testaussekvensserin kuvaus

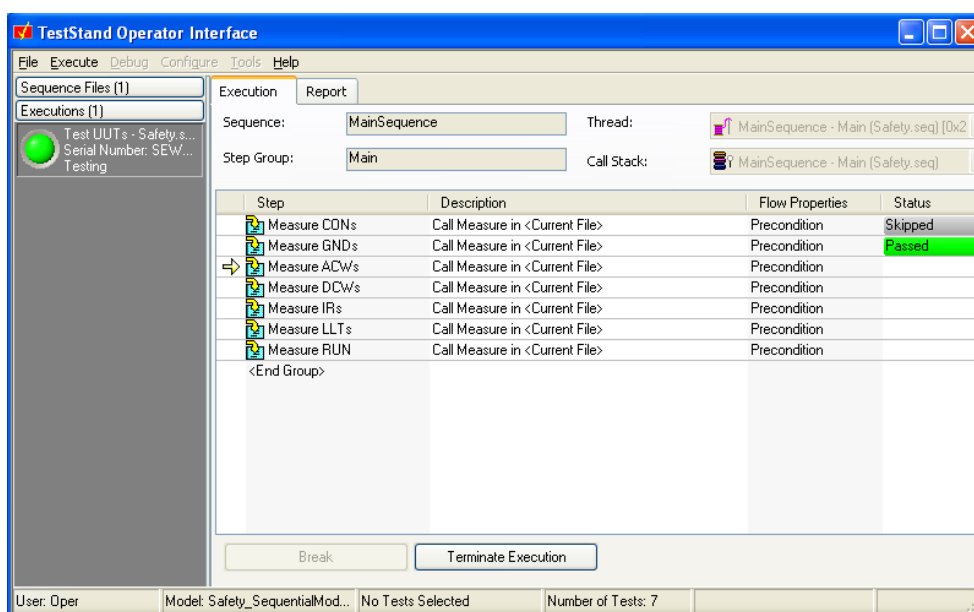
Testijonoja ajetaan National Instrumentsin TestStand Operator Interface ohjelmalla. Ohjelma vaatii toimiakseen LabVIEW 7.1 Runtime enginein.

Operator Interfacen käynnistämisen jälkeen avautuu kuvan 23 mukainen ikkuna, jossa kysytään käyttäjän ja laitteen tiedot. Testijonon ajaminen on salasanasuojattu. Ohjelmaan annetaan laitteen sarjanumero ja laitetyyppi, joiden perusteella avautuu oikea testijono. Jos testattavalle tuotteelle on määriteltä käyttäjäoptioita, ne näkyvät ikkunan vasemmassa reunassa olevassa listassa. Tarvittavat optiot valitaan testattavan laitteen tietojen mukaisesti ruksaamalla ne. Jos testausrutiinit vaativat käyttöjännitteitä testattavalle tuotteelle, siihen tarvittavat asetukset tulevat näkyviin sarjanumero- ja laitetyyppi-kenttien viereen. Näistä asetuksista kaikki kentät täytetään testattavan laitteen tietojen mukaisesti.



Kuva 23: Käyttäjän ja laitteen tunnistusikkuna testijonossa.

Kun kaikki tiedot on täytetty oikein, käynnistetään testijono ja ohjelma suorittaa tarvittavat testit sekä näyttää ruudulla testauksen etenemisen kuvan 24 mukaan. Lopuksi tulee näkyviin ilmoitus hyväksytystä tai hylätystä tuloksesta. Hyväksytyn testin jälkeen testausraportti tulostuu automaattisesti. Hylätyn tuloksen jälkeen testausraportti näytetään ruudulla ja sen voi tulostaa. Viimeisenä ohjelma siirtyy kysymään seuraavan testattavan laitteen tietoja. Tyypillisesti testijonon ajaminen kestää noin 2 min.

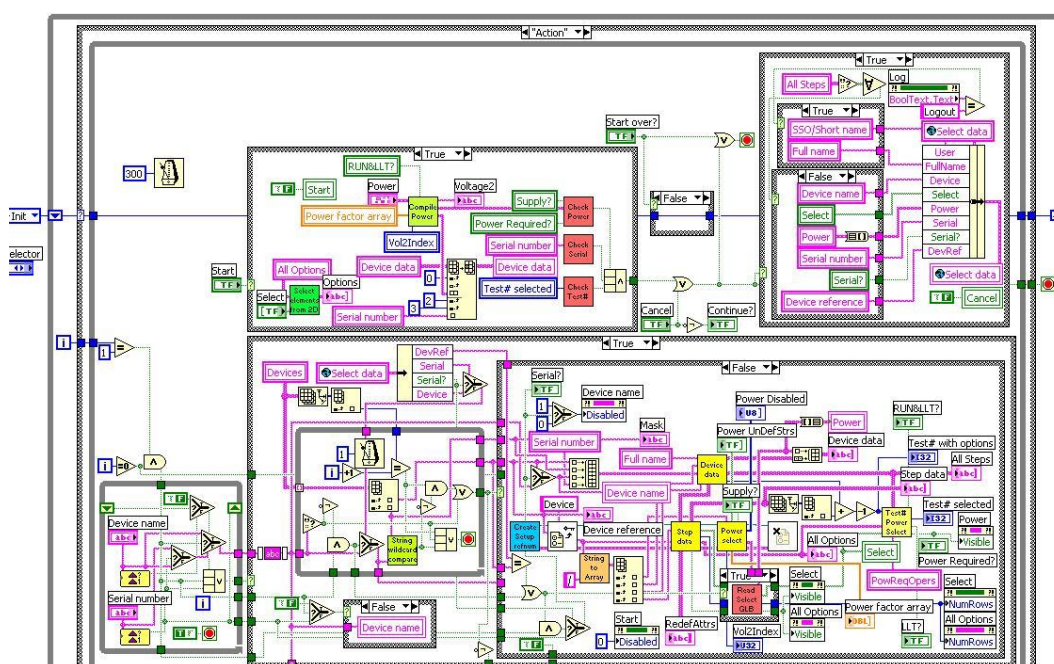


Kuva 24: Testauksen eteneminen käynnissä testaussekvensserillä.

4.4 Testijonon ohjelmointi

Testijono rakennettiin National Instrumentsin TestStand 3.1 sovelluksella ja testausmenetelmät tehtiin näin ikään myös LabVIEW ohjelmointikielellä. Testijono jakautuu kahteen osioon, joista toisessa on varsinaiseen mittaukseen liittyvät tapahtumat ja toisessa kaikki sitä ennen ja sen jälkeen olevat tapahtumat.

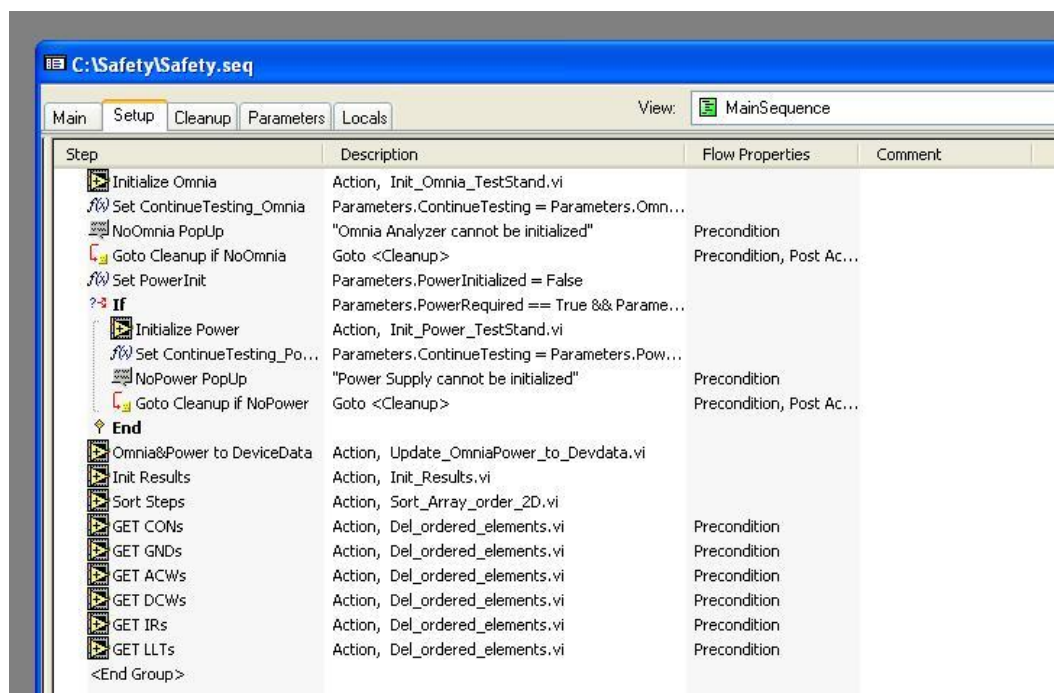
Aluksi tehdään alustukset tiedostopoluille, tarkastetaan tiedostojen tarkistussummat ja luetaan parametrien oletusarvot. Tämän jälkeen avautuu ikkuna, jossa käyttäjä syöttää käyttäjätunnuksen ja salasanan ja valitsee testijonon (kaaviokuva kuvassa 25). Testijono valitaan laitenimen tai sarjanumeron perusteella riippuen siitä kumpi vastaa testijonotietoihin tallennettua maskia. Kun oikea testijono löytyy, kenttiin avautuvat testijonon tiedot, ja käyttäjä pääsee tarvittaessa valitsemaan käyttäjäoptiota, syöttämään sähkönsyötön tietoja tai käynnistämään testin. Esimerkkinä olevassa kaaviokuvassa näkyy, kuinka ohjelma asettaa tarvittavat kentät käyttäjälle näkyväksi ja tarkastaa ennen käynnistystä, että tarvittavat kentät on täytetty asianmukaisesti ja ottaa testijonon tiedot muistiinsa. Jos testijono on ohjelman muistissa, lataa se automaattisesti testijonon ja sille valitut tiedot, kun se valitaan seuraavalla kerralla.



Kuva 25: Laitteen valinnan kaaviokuva testijonossa.

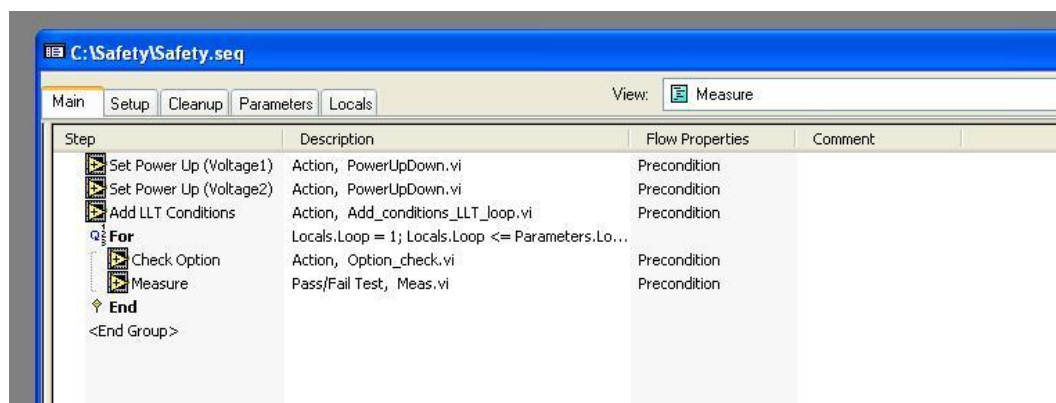
Kuvassa 25 vasemmalla silmukassa tarkastetaan, onko laitenimen tai sarjanumeron kenttä muuttunut. Jos jommankumman arvo on muuttunut, tarkastetaan seuraavassa silmukassa, onko laitenimeä tai sarjanumeroa vastaavaa testijonoa tallennettuna. Jos oikea testijono löytyy, avataan sen tiedot tiedostosta kenttiin ja asetetaan tarvittavat kentät näkyville. Kun Start-painonappia painetaan, katsotaan vasemmalla ylhäällä olevassa tarkastuksessa, että kaikki tiedot on täytetty oikein. Jos tiedot on täytetty oikein, ohjelma tallentaa jonon tiedot (oikealla ylhäällä) ja siirtyy testaamaan laitetta.

Kun käyttäjä on aloittanut testin, sekvensseri ottaa muistiin testauksen aloitusajan ja siirtyy tekemään mittauksia. Ensimmäiseksi ohjelma alustaa testauslaitteen ja tarvittaessa ulkoisen teholähteen ja lukee niistä sarjanumerot sekä käytetyt ohjelmisto-versiot (kuva 26). Seuraavaksi alustetaan tulostaulukko ja järjestetään testit tarkoituksen mukaiseen järjestykseen: ensin jatkuvuuden, sitten suojamaadoituksen impedanssin, dielektrisen lujuuden, eristysresistanssin ja vuotovirran testit. Viimeisenä suoritetaan sähkönsyötön testi. Tämän jälkeen ohjelma lataa eri testien tiedot omiin muuttujiinsa.



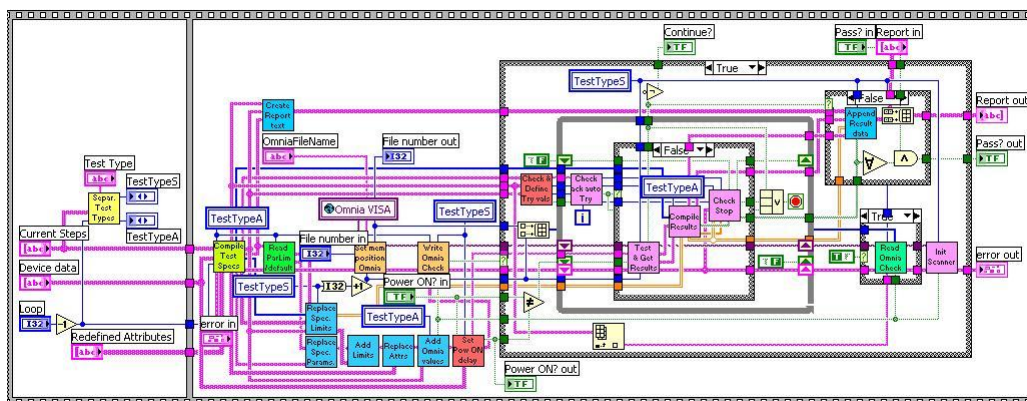
Kuva 26: Mittaustapahtumien alustuksen tapahtumat TestStand-näkymässä.

Seuraavaksi aletaan suorittaa varsinaisia mittauksia kuvan 27 näkymän mukaisesti. Ennen vuotovirran ja sähkönsyötön testejä tarkastetaan, että ulkoisella teholahteella on oikeat arvot. Jokaiselle vuotovirtatestille rakennetaan oikeat releasennot sähkönsyötön katkoksia ja käänteissyöttöjä varten. Testausoperaatio ajetaan niin monta kertaa jokaisen testityypin kohdalla, kuin kyseistä testityyppiä on valittu testijonoon. Ennen mittausoperaatiota ohjelma tarkastaa tarvittaessa, onko käyttäjä valinnut testin käyttäjäoption.



Kuva 27: Mittaustapahtumat TestStand-näkymässä.

Kuvan 28 mukaisesti suoritettavassa mittausoperaatiossa jaotellaan testin eri tiedot, luetaan oikeat arvot testauslaitteelle ja tarkastetaan tarvittaessa, että matriisiskanneri on kytketty. Sitten valitaan oikea testi testauslaitteelta, kirjoitetaan sinne oikeat arvot, suoritetaan testi ja kootaan tiedot raporttia varten. Tämän jälkeen luetaan tiedot testauslaitteelta tarkastusta varten, ja lopuksi vielä alustetaan matriisiskannerin kanavat pois päältä.



Kuva 28: Mittausoperaatioiden kaaviokuva testijonossa.

Kun mittausoperaatio on ajettu tarvittavan monta kertaa, järjestetään mittausdata takaisin siihen järjestykseen kuin se oli testijonon määrittämisessä ja luetaan testauksen loppumisen kellonaika. Seuraavaksi tarkastetaan, pysäytettiinkö testijono kesken kaiken, ja tapahtuiko testauksen aikana virhe, joka keskeytti testijonon.

Seuraavana näytetään ilmoitus, joka kertoo onko testi hyväksytty, hylätty, keskeytetty, tai tapahtuiko testauksen aikana virhe. Lopuksi kootaan raportti saaduista testituloksista, testaukseen käytettyjen laitteiden ja ohjelmien tiedoista ja asetuksista, sekä tulostetaan se, jonka jälkeen siirrytään testaamaan seuraavaa laitetta. Ohjelma muistaa aina seuraavilla kerroilla käyttäjän valitsemat testijonon tiedot.

5 Järjestelmän validointi

5.1 Mittausepävarmuus

Mittausepävarmuus määritettiin 10 testiajon keskiarvon ja testauslaitteen ohjekirjasta löytyvien, valmistajan ilmoittamien tarkkuuksien avulla. 10 testiajon (mittaustulokset liitteessä 13) keskiarvojen avulla laskettiin kullekin testille mittausepävarmuudet (taulukko 5) Kun verrataan liitteen 13 mittaustuloksien arvoja keskiarvoon, huomataan, että tulokset osuvat epävarmuuden määrittämiin rajoihin, joten tuloksia voidaan pitää toistettavina.

Taulukossa 5 vasemman puoleisin sarake on testin nimi. Toisessa sarakkeessa on esitetty testin mittaustulos, joka on kymmenen testiajon tuloksen keskiarvo. Kolmas sarake antaa kaavan, jolla neljännen sarakkeen absoluuttinen epävarmuus lasketaan. Laskennan arvot ovat valmistajan ilmoittamia tarkkuuksia ja niissä on sekä suhteellinen että absoluuttinen epävarmuustekijä. Viimeisen sarakkeen suhteellinen epävarmuus on absoluuttisen epävarmuuden ja mittaustuloksen suhde.

Taulukko 5: Uudella testausjärjestelmällä ajettujen 10 testiajon testien epävarmuudet. Taulukossa NC tarkoittaa normaalia sähkön syöttöä (Normal Condition), OS avointa vaihetta (Open Supply), OE avointa suojamaata (Open Earth) ja RM käännettyä vaihetta (Reverse Mode). [6]

Testi	Mittaus-tulos	Epävarmuuden laskenta *)	Absoluuttinen epävarmuus	Suhteellinen epävarmuus
Sähkösyöttö - Virta (A)	0,24	$\pm(2 \% + 0,02)$	0,025	10,3 %
Sähkösyöttö - Vuotovirta (mA)	0,29	$\pm(2 \% + 0,02)$	0,026	9,0 %
Sähkösyöttö - Tehokerroin	0,79	$\pm(8 \% + 0,002)$	0,065	8,2 %
Sähkösyöttö - Teho (W)	45,40	$\pm(5 \% + 3)$	5,270	11,6 %
Sähkösyöttö - Jännite (V)	237,65	$\pm(2 \% + 0,02)$	4,773	2,0 %
Dielektrinen lujuus AC - reaalinen (mA)	0,07	$\pm(3 \% + 0,05)$	0,052	72,1 %
Dielektrinen lujuus AC - kokonais (mA)	1,22	$\pm(2 \% + 0,002)$	0,026	2,1 %
Suojamaadoituksen impedanssi (mΩ)	100,80	$\pm(2 \% + 2)$	4,016	4,0 %
Vuotovirta - maa - NC (μA)	124,35	$\pm(1,5 \% + 0,3)$	2,165	1,7 %
Vuotovirta - maa - OS (μA)	233,78	$\pm(1,5 \% + 0,3)$	3,807	1,6 %
Vuotovirta - maa - NC RM (μA)	122,56	$\pm(1,5 \% + 0,3)$	2,138	1,7 %
Vuotovirta - maa - OS RM (μA)	234,07	$\pm(1,5 \% + 0,3)$	3,811	1,6 %
Vuotovirta - kotelo - NC (μA)	1,30	$\pm(1,5 \% + 0,3)$	0,320	24,6 %
Vuotovirta - kotelo - OS (μA)	1,30	$\pm(1,5 \% + 0,3)$	0,320	24,6 %
Vuotovirta - kotelo - OE (μA)	124,17	$\pm(1,5 \% + 0,3)$	2,163	1,7 %
Vuotovirta - kotelo - NC RM (μA)	1,30	$\pm(1,5 \% + 0,3)$	0,320	24,6 %
Vuotovirta - kotelo - OS RM (μA)	1,30	$\pm(1,5 \% + 0,3)$	0,320	24,6 %
Vuotovirta - kotelo - OE RM (μA)	122,55	$\pm(1,5 \% + 0,3)$	2,138	1,7 %
*) Prosentuaalinen epävarmuus on suhteessa mittaustulokseen.				

5.2 Tulosten vertailu vanhaan järjestelmään

Järjestelmän mittaustuloksia verrattiin vanhaan järjestelmään, jossa käytetään eri mittauslaitteita. Myös vanhalla järjestelmällä mitattiin samalla tuotteella 10 kertaa (mittaustulokset liitteessä 14) ja tuloksille laskettiin vastaavat epävarmuudet kuin uudelle järjestelmälle (taulukko 6). Laskennan arvot ovat valmistajan ilmoittamia tarkkuuksia mittaustulokseen nähden. Tämän vuoksi taulukkoon lisättiin kolmanneksi valmistajan ilmoittama mittaustulokseksi, jonka ylä- ja alarajan erotusta käytettiin absoluuttisen epävarmuuden prosentuaalisen osan laskemiseen.

Taulukko 6: Vanhalla testausjärjestelmällä ajettujen 10 testiajon avulla lasketut testien epävarmuudet. [9]

Testi	Mittaustulos	Mittaustulosalue	Epävarmuuden laskenta *)	Absoluuttinen epävarmuus	Suhteellinen epävarmuus
Sähkönsyöttö - Jännite (V)	233,85	0-400	$\pm(1 \% + 0,1)$	4,1	1,8 %
Suojamaadoituksen impedanssi (mΩ)	102,20	0-2 000	$\pm(2 \% + 1)$	41,0	40,1 %
Vuotovirta - maa - NC (μA)	113,50	100-1 000	$\pm(2 \% + 1)$	19,0	16,7 %
Vuotovirta - maa - OS (μA)	219,30	100-1 000	$\pm(2 \% + 1)$	19,0	8,7 %
Vuotovirta - maa - NC RM (μA)	116,00	100-1 000	$\pm(2 \% + 1)$	19,0	16,4 %
Vuotovirta - maa - OS RM (μA)	218,90	100-1 000	$\pm(2 \% + 1)$	19,0	8,7 %
Vuotovirta - kotelo - NC (μA)	0,00	0-99,9	$\pm(2 \% + 0,1)$	2,1	-
Vuotovirta - kotelo - OS (μA)	0,00	0-99,9	$\pm(2 \% + 0,1)$	2,1	-
Vuotovirta - kotelo - OE (μA)	114,30	100-1 000	$\pm(2 \% + 1)$	19,0	16,6 %
Vuotovirta - kotelo - NC RM (μA)	0,00	0-99,9	$\pm(2 \% + 0,1)$	2,1	-
Vuotovirta - kotelo - OS RM (μA)	0,00	0-99,9	$\pm(2 \% + 0,1)$	2,1	-
Vuotovirta - kotelo - OE RM (μA)	116,20	100-1 000	$\pm(2 \% + 1)$	19,0	16,4 %

*) Prosentuaalinen epävarmuus on suhteessa täyteen näyttämään.

Tämän jälkeen testitulosten keskiarvojen avulla laskettiin uuden järjestelmän Ero vanhaan järjestelmään sekä vertailun kokonaisepävarmuus (taulukko 7). Vertailun kokonaisepävarmuus saatiin laskemalla molempien järjestelmien epävarmuudet neliöllisesti yhteen. [10]

Kotelovuotovirran mittaustulokset normaalilla syötöllä ja avoimella vaiheella sekä käänteisellä että ei-käänteisellä syötöllä olivat niin pieniä, että vanha järjestelmä sai niistä 0 tuloksen, joten näiden testien kohdalla vertailtiin absoluuttista epävarmuutta kun taas muiden kohdalla vertailun kohteen oli suhteellinen epävarmuus. [10]

Taulukko 7: Vanhalla testausjärjestelmällä ajettujen 10 testiajon avulla lasketut uuden testausjärjestelmän tuloksien erot vanhaan järjestelmään. [10]

Testi	Mittaustulos vanha	Mittaustulos uusi	Ero vanhaan	Kokonais- epävarmuus
Sähkönsyöttö - Jännite (V)	233,85 ± 1,8 %	237,65 ± 2,0 %	1,6 %	2,7 %
Suojamaadoituksen impedanssi (mΩ)	102,20 ± 40,1 %	100,80 ± 4,0 %	1,4 %	40,3 %
Vuotovirta - maa - NC (μA)	113,50 ± 16,7 %	124,35 ± 1,7 %	9,6 %	16,8 %
Vuotovirta - maa - OS (μA)	219,30 ± 8,7 %	233,78 ± 1,6 %	6,6 %	8,8 %
Vuotovirta - maa - NC RM (μA)	116,00 ± 16,4 %	122,56 ± 1,7 %	5,7 %	16,5 %
Vuotovirta - maa - OS RM (μA)	218,90 ± 8,7 %	234,07 ± 1,6 %	6,9 %	8,8 %
Vuotovirta - kotelo - NC (μA)	0,00 ± 2,1	1,30 ± 0,3	1,3	2,1
Vuotovirta - kotelo - OS (μA)	0,00 ± 2,1	1,30 ± 0,3	1,3	2,1
Vuotovirta - kotelo - OE (μA)	114,30 ± 16,6 %	124,17 ± 1,7 %	8,6 %	16,7 %
Vuotovirta - kotelo - NC RM (μA)	0,00 ± 2,1	1,30 ± 0,3	1,3	2,1
Vuotovirta - kotelo - OS RM (μA)	0,00 ± 2,1	1,30 ± 0,3	1,3	2,1
Vuotovirta - kotelo - OE RM (μA)	116,20 ± 16,4 %	122,55 ± 1,7 %	5,5 %	16,4 %

Taukosta 7 nähdään, että sähkön syötön jännitteen mittauksessa uuden järjestelmän prosentuaalinen ero vanhaan järjestelmään oli erittäin pieni ja pysyi hyvin vertailun kokonaisepävarmuuden määrittämissä rajoissa.

Suojamaadoituksen impedanssin testissä prosentuaalinen ero oli myös erittäin pieni ja pysyi selvemmin vertailun kokonaisepävarmuuden määrittämissä rajoissa. Suojamaadoituksen impedanssitestin kohdalla vertailun kokonaisepävarmuus on kuitenkin suuri ja se johtuu suurimmaksi osaksi vanhan järjestelmän suuresta epävarmuudesta.

Vuotovirta testien vertailussa uuden järjestelmän ero vanhaan järjestelmään oli myös kokonaisepävarmuuteen nähden hyväksyttävä.

Alle 300μA vuotovirroilla vertailussa jopa yli 10 % eroa voitaisiin pitää hyväksyttävänä, koska mittausepävarmuuksien aiheuttajia on paljon. Esimerkiksi kaapelien impedanssit, käyttöjännitteen laatu, ympäristöolosuhteet, mitattavasta laitteesta ja mittareista johtuva hajonta sekä lisäksi virran sisältämät yli 400 Hz taajuuudet. Näin ollen mittaustuloksia voidaan vanhaan järjestelmään nähden pitää hyväksyttävänä.

5.3 Testien hylkäyshavainnointi

Jotta voitaisiin todeta, että järjestelmä todella havaitsee virheelliset laitteet ja antaa kullekin testille totuudenmukaisia tuloksia virhetilanteissa, suoritettiin kuusi erilaista hylkäyshavainnointitestiä. Testeissä irrotettiin vuorotellen eri mittausjohtoja ja tarkastettiin, että tulokset olivat irrotettuun johtoon nähden oikeita.

Ensimmäiseksi irrotettiin sähkönsyöttö testattavalta laitteelta. Odotettavasti sähkönsyöttötestistä putosivat kaikki mittaukset nollaan jännitettä lukuun ottamatta. Myös sähkönsyötölle tehtävän dielektrisen lujuustestin kokonaisläpilyöntivirta putosi lähes nollaan. Suojamaadoituksen impedanssitestin lukema taas nousi odotetusti yli ylärajan, koska sähkönsyötön GND-johto oli irrotettu. Samasta syystä hylkääntyivät kotelovuotovirran testit, joissa suojamaa oli avoinna, sekä kaikki maavuotovirran testit.

Seuraavaksi irrotettiin Case-johto. Case-johtoa ei käytetä missään muussa testissä kuin suojamaadoituksen impedanssitestissä, joten suojamaadoituksen impedanssitestin tulos nousi yli ylärajojen.

Seuraavana oli vuorossa Probe HI -johdon irrotus. Probe HI- johto on käytössä vain kotelovuotovirtatestissä, joten testin vaikutus näkyi sen mukaisesti. Kaikki kotelovuotovirtatestin tulokset putosivat lähes nollaan. Vain testit, joissa suojamaa oli kelluvana, hylkääntyivät mittausrajojen asetteluun vuoksi.

Neutral-johdon irrottaminen vaikutti vain sähkönsyöttö- ja vuotovirtatestien tuloksiin. Odotetusti sähkönsyöttötestin virta, teho ja tehokerroin putosivat nollaan, mutta vain teholle tehty testi hylkääntyi mittausrajojen asetteluun vuoksi. Suojamaan vuotovirtatesti hylkääntyi käänteisellä syötöllä, koska näissä testeissä jännite syötetään Neutral-liittimestä. Kotelovuotovirran käänteisen syötön ja kelluvan suojamaan testi hylkääntyi samasta syystä.

Line-johdon irrottamisen vaikutukset olivat odotettavasti samankaltaiset kuin Neutral-johdon irrottamisella. Sähkönsyötön testissä lisäksi vuotovirtatestin tulos laski nollaan, koska vuotovirta mitataan Line-liittimestä GND-liittimeen. Vuotovirta testeissä hylkääntyivät vastaavasti samat testit kuin Neutral-johdon

irrottamisen tapauksessa, mutta käänteiset syötöt vaihtuivat normaalisyöttöön.

Tämä johtuu myös päinvastaisesta syystä – jännite syötetään normaalisti Neutral-liittimestä.

Viimeisenä irrotettiin testauslaitteelle syötettävän DUT-jännitteen johto. Koska vain sähkönsyöttö- ja vuotovirtatesteissä tarvitaan testattavalle tuotteelle sähkönsyöttö, seurasi tästä luonnollisesti kaikkien näiden testien tulosten hylkääntyminen. Tämän johdon irrottamisen seurauksena mistään näistä testeistä ei saatu tulosta.

6 Johtopäätökset

Testiajojen perusteella järjestelmästä saatiin toistettavasti testejä tekevä ja kattava testausjärjestelmä, jolla pystytään tekemään testejä nopeammin vanhaan järjestelmään verrattuna. Tyypillisesti testattavan laitteen kytkeminen järjestelmään kestää noin 30 s ja testaaminen noin 2 min. Järjestelmästä saatiin lisäksi monipuolisempi ja tarkempi uusien testityyppien ja tarkemman mittauslaitteen ansiosta. Järjestelmä mittaa dielektrisyyden lujuuden testit 2,1 % epävarmuudella, vuotovirtatestit 1,7 % epävarmuudella ja suojamaadoituksen impedanssin testit 4,0 % epävarmuudella.

Kaikkein haastavimmaksi projektissa osoittautui valita, mitkä asetukset ohjelmistossa tarvitsi tehdä testauspaikkakohtaisiksi, mitkä yleisiksi, ja mitkä ylipäänsä muokattavissa oleviksi. Monien beta-vaiheen testaamisen jälkeen saatiin aikaan muuntautumiskykyinen järjestelmä, jossa myöhempien parannuksien rajoituksia ei käytännössä ole.

Suurin työ oli ohjelmoida editori, jolla ylläpidetään järjestelmää. Tallennettavien testijonojen ym. asetuksiin tehtiin käyttäjää auttavia ohjetekstejä, jotta testijonon luomisessa ja ylläpidossa tapahtuisi mahdollisimman vähän virheitä. Kyseessä on kuitenkin testauslaite, joka syöttää hengenvaarallisen suuria jännitteitä ja virtoja.

Testauslaitteeksi valittu Omnia 8106 osoittautui syöttö- ja mittausalueiltaan standardien vaatimuksiin ja GE Healthcaren käyttöön sopivaksi. Myös National Instrumentin TestStandin käyttöönotto osoittautui opettavaiseksi ja se yhtenäisti testausta muihin GE Healthcaren laitteiden testausosastoihin nähden. LabVIEW ohjelmointikielen valinta osoittautui myös hyväksi, koska lähes kaikilla GE Healthcare Finlandin testausosastolla työskentelevillä on kokemusta kyseisestä ohjelmointikielestä ja kuka tahansa heistä voi jatkaa järjestelmän tuotekehitystä.

Matriisiskannerilla saatiin helpotusta testaamiseen ja testausaikoihin, kun operaattorin ei tarvitse asettaa joka testin välissä mittapäätä eri testipisteisiin, vaan johdot voidaan asettaa valmiiksi ennen testausta. Ohjelmiston käytettävyyttä paranneltiin pitkään ja siitä saatiin kokemuksien pohjalta toimiva. Myös uusitusta testauspaikan ympäristöstä saatiin entistä turvallisempi ja helppokäyttöisempi operaattorin kannalta.

7 Lähteet

1. Esa Tiainen (Päätoimittaja): Sähkötyöturvallisuusopas. Espoo: Sähköinfo Oy, 2005.
2. Seppo Simonen: Sähkölaitteiden direktiivinen turvallisuus. Helsinki: Tekijä ja Oy Yliopistokustannus/Otetieto, 2001.
3. CEI/IEC-60601-1 – General requirements for basic safety and essential performance for Medical electrical, third edition, 2005-12. International Electrotechnical Commission, 2005.
4. SFS-EN-50191 – Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö, 1. painos, 2000-11. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2000.
5. SFS-EN-50116 – Information Technology equipment Routine electrical safety testing in production, CENELEC, 1996.
6. Associated Research Inc.: Operation and Service Manual for model 8100 Electrical Safety Compliance Analyzer, Version 1.06, USA 2005.
7. Associated Research Inc.: Operation and Service Manual for model SC6540 High Voltage and High Current Scanning Matrix, Version 1.04, USA 2006.
8. California Instruments: User and Programming Manual for 801RP/1251RP Series AC Power Source, 2005.
9. Metron: QA-90 Electrical Safety Analyzer User & Service Manual, Revision 1, 1999
10. European co-operation for Accreditation: EA 4/02, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, Revision 0, 1999

Liitteet

Liite 1: IEC-60601 standardin listaamat virtarajat vuotovirtatesteissä 1

Current in μA										
Current	Description	Reference	Measuring Circuit		TYPE B APPLIED PART		TYPE BF APPLIED PART		TYPE CF APPLIED PART	
					NC	SFC	NC	SFC	NC	SFC
PATIENT AUXILIARY CURRENT		8.7.4.8	Figure 19	d.c.	10	50	10	50	10	50
				a.c.	100	500	100	500	10	50
PATIENT LEAKAGE CURRENT	From PATIENT CONNECTION to earth	8.7.4.7 a)	Figure 15	d.c.	10	50	10	50	10	50
				a.c.	100	500	100	500	10	50
	Caused by an external voltage on a SIP/SOP	8.7.4.7 c)	Figure 17	d.c.	10	50	10	50	10	50
				a.c.	100	500	100	500	10	50
Total PATIENT LEAKAGE CURRENT ^a	With the same types of APPLIED PART connected together	8.7.4.7 a) and 8.7.4.7 h)	Figure 15 and Figure 20	d.c.	50	100	50	100	50	100
				a.c.	500	1 000	500	1 000	50	100
	Caused by an external voltage on a SIP/SOP	8.7.4.7 c) and 8.7.4.7 h)	Figure 17 and Figure 20	d.c.	50	100	50	100	50	100
				a.c.	500	1 000	500	1 000	50	100

Key
NC = NORMAL CONDITION
SFC = SINGLE FAULT CONDITION

NOTE 1 For EARTH LEAKAGE CURRENT see 8.7.3 d).

NOTE 2 For TOUCH CURRENT see 8.7.3 c).

^a Total PATIENT LEAKAGE CURRENT values are only applicable to equipment having multiple APPLIED PARTS. See 8.7.4.7 h). The individual APPLIED PARTS shall comply with the PATIENT LEAKAGE CURRENT values.

Liite 2: IEC-60601 standardin listaamat virtarajat vuotovirtatesteissä 2

Current in μA						
Current	Description ^a	Reference	Measuring Circuit	TYPE B APPLIED PART	TYPE BF APPLIED PART	TYPE CF APPLIED PART
PATIENT LEAKAGE CURRENT	Caused by an external voltage on the PATIENT CONNECTION of an F-TYPE APPLIED PART	8.7.4.7 b)	Figure 16	Not applicable	5 000	50
	Caused by an external voltage on a metal ACCESSIBLE PART not PROTECTIVELY EARTHED	8.7.4.7 d)	Figure 18	500	500	— ^c
Total PATIENT LEAKAGE CURRENT ^b	Caused by an external voltage on the PATIENT CONNECTION of an F-TYPE APPLIED PART	8.7.4.7 b) and 8.7.4.7 h)	Figure 16 and Figure 20	Not applicable	5 000	100
	Caused by an external voltage on a metal ACCESSIBLE PART not PROTECTIVELY EARTHED	8.7.4.7 d) and 8.7.4.7 h)	Figure 18 and Figure 20	1 000	1 000	— ^c

^a The condition referred to in Table IV of the second edition as "MAINS VOLTAGE ON APPLIED PART", and treated in that edition as a SINGLE FAULT CONDITION, is treated in this edition as a special test condition. The test with MAXIMUM MAINS VOLTAGE on a NON-PROTECTIVELY EARTHED ACCESSIBLE PART is also a special test condition, but the allowable values are the same as for SINGLE FAULT CONDITION. See also the rationales for 8.5.2.2 and 8.7.4.7 d).

^b Total PATIENT LEAKAGE CURRENT values are only applicable to equipment having multiple APPLIED PARTS. See 8.7.4.7 h). The individual APPLIED PARTS shall comply with the PATIENT LEAKAGE CURRENT values.

^c This condition is not tested with TYPE CF APPLIED PARTS because it is covered by the test with MAXIMUM MAINS VOLTAGE on the APPLIED PART. See also the rationale for 8.7.4.7 d).

Liite 3: IEC-60601 standardin listaamat testausjännitteet dielektrisen lujuuden testeissä 1

[illegible]

**Liite 4: IEC-60601 standardin listaamat testausjännitteet dielektrisen
lujuuden testeissä 2**

PEAK WORKING VOLTAGE (U) V peak or V d.c.	One MOOP	Two MOOP	PEAK WORKING VOLTAGE (U) V peak or V d.c.	One MOOP	Two MOOP	PEAK WORKING VOLTAGE (U) V peak or V d.c.	One MOOP	Two MOOP
34	500	800	250	1 261	2 018	1 750	3 257	3 257
35	507	811	260	1 285	2 055	1 800	3 320	3 320
36	513	821	270	1 307	2 092	1 900	3 444	3 444
38	526	842	280	1 330	2 127	2 000	3 566	3 566
40	539	863	290	1 351	2 162	2 100	3 685	3 685
42	551	882	300	1 373	2 196	2 200	3 803	3 803
44	564	902	310	1 394	2 230	2 300	3 920	3 920
46	575	920	320	1 414	2 263	2 400	4 034	4 034
48	587	939	330	1 435	2 296	2 500	4 147	4 147
50	598	957	340	1 455	2 328	2 600	4 259	4 259
52	609	974	350	1 474	2 359	2 700	4 369	4 369
54	620	991	360	1 494	2 390	2 800	4 478	4 478
56	630	1 008	380	1 532	2 451	2 900	4 586	4 586
58	641	1 025	400	1 569	2 510	3 000	4 693	4 693
60	651	1 041	420	1 605	2 567	3 100	4 798	4 798
62	661	1 057	440	1 640	2 623	3 200	4 902	4 902
64	670	1 073	460	1 674	2 678	3 300	5 006	5 006
66	680	1 088	480	1 707	2 731	3 400	5 108	5 108
68	690	1 103	500	1 740	2 784	3 500	5 209	5 209
70	699	1 118	520	1 772	2 835	3 600	5 309	5 309
72	708	1 133	540	1 803	2 885	3 800	5 507	5 507
74	717	1 147	560	1 834	2 934	4 000	5 702	5 702
76	726	1 162	580	1 864	2 982	4 200	5 894	5 894
78	735	1 176	588	1 875	3 000	4 400	6 082	6 082
80	744	1 190	600	1 893	3 000	4 600	6 268	6 268
85	765	1 224	620	1 922	3 000	4 800	6 452	6 452
90	785	1 257	640	1 951	3 000	5 000	6 633	6 633
95	805	1 288	660	1 979	3 000	5 200	6 811	6 811
100	825	1 319	680	2 006	3 000	5 400	6 987	6 987
105	844	1 350	700	2 034	3 000	5 600	7 162	7 162
110	862	1 379	720	2 060	3 000	5 800	7 334	7 334
115	880	1 408	740	2 087	3 000	6 000	7 504	7 504
120	897	1 436	760	2 113	3 000	6 200	7 673	7 673
125	915	1 463	780	2 138	3 000	6 400	7 840	7 840
130	931	1 490	800	2 164	3 000	6 600	8 005	8 005
135	948	1 517	850	2 225	3 000	6 800	8 168	8 168
140	964	1 542	900	2 285	3 000	7 000	8 330	8 330
145	980	1 568	950	2 343	3 000	7 200	8 491	8 491
150	995	1 593	1 000	2 399	3 000	7 400	8 650	8 650
152	1 000	1 600	1 050	2 454	3 000	7 600	8 807	8 807
155	1 000	1 617	1 100	2 508	3 000	7 800	8 964	8 964
160	1 000	1 641	1 150	2 560	3 000	8 000	9 119	9 119
165	1 000	1 664	1 200	2 611	3 000	8 200	9 273	9 273
170	1 000	1 688	1 250	2 661	3 000	8 400	9 425	9 425
175	1 000	1 711	1 300	2 710	3 000	8 600	9 577	9 577
180	1 000	1 733	1 350	2 758	3 000	8 800	9 727	9 727
184	1 000	1 751	1 400	2 805	3 000	9 000	9 876	9 876
185	1 097	1 755	1 410	2 814	3 000	9 200	10 024	10 024
190	1 111	1 777	1 450	2 868	3 000	9 400	10 171	10 171
200	1 137	1 820	1 500	2 934	3 000	9 600	10 317	10 317
210	1 163	1 861	1 550	3 000	3 000	9 800	10 463	10 463
220	1 189	1 902	1 600	3 065	3 065	10 000	10 607	10 607
230	1 214	1 942	1 650	3 130	3 130			
240	1 238	1 980	1 700	3 194	3 194			

**Liite 5: EN-50191 standardin määäämät etäisyydet kielletylle alueelle
jännitteen mukaan listattuna**

Testausjännite vaihtosähköllä 50/60 Hz (tshoissarvo)		Salamajännite 1,2/50 µs (huippuarvo)		Kytkeytyijännite 250/2500 µs (huippuarvo)	
U kV	s mm	U kV	s mm	U kV	s mm
≤ 1	ei kosketusta	20	100	500	2000
3	20	40	175	600	2600
5	30	60	250	700	3300
6	35	80	325	800	4100
10	60	100	400	900	4900
15	85	150	550	1000	5800
20	115	200	700	1100	6800
25	140	250	850	1200	7800
30	170	300	1000	1300	8900
35	195	350	1100	1400	10000
40	225	400	1200	1500	11200
45	250	450	1300	1600	12500
50	280	500	1400		
55	305	600	1650		
60	335	700	1950		
70	390	800	2200		
80	450	900	2450		
90	510	1000	2700		
100	580	1100	2950		
110	620	1200	3250		
130	740	1300	3500		
150	860	1400	3750		
170	980	1500	4000		
190	1100				
210	1240				
220	1300				
260	1550				
300	1850				
340	2150				
380	2450				
420	2750				
460	3100				
500	3500				
600	4500				
700	5600				
800	6900				
900	8300				
1000	9900				

Välisarvot saadaan interpoloimalla. Suurimpia määrättyjä arvoja korkeampia arvoja ei kuitenkaan saa ekstrapoloida ylöspäin.
Tasasähkötestausjännitteillä enintään 1000 V saakka etäisyyden s on täytettävä salamajännitesarakkeen arvot.
Taulukko ei ole käytökelpoinen suuritaajuisille jännitteille eikä muille kuin taulukossa määrätyle jännitteille.

Liite 6: Kuvan 12 ARI Omnia 8106 testauslaitteen etupaneelin numeroitujen osien selitykset

1. Graafinen LCD-näyttö: 320x240 monograafinen LCD-näyttö, josta voidaan seurata testauksen aikana, minkälainen testi on meneillään.

2, 3, 10-12. Laitteen näppäimet: Laitteen näppäimillä voidaan myös manuaalisesti tarkastella laitteen asetuksia, mutta järjestelmä on automatisoitu, joten testauksen alussa testauslaite alustetaan.

4. Suurjännitteen indikaattori: Indikaattorin valo vilkkuu testauksen aikana, kun testauslaitteessa on suurjännite kytkettynä.

5. Matriisiskannerin valot: Matriisiskannerin merkkivalot näyttävät, mitkä matriisiskannerin kanavista ovat päällä.

6. Dielektrisen lujuustestin jännitteen ulostulo (HV): Dielektrisen lujuustestien AC- ja DC-jännitteen ulostuloliitin.

7. Virtakytkin: Testauslaitteen virtakytkin.

8. Reset-näppäin: Reset-näppäimellä testaaminen saadaan keskeytettyä. Reset-näppäimen valo syttyy myös punaisena, kun käynnissä oleva testi hylätään.

9. Test-näppäin: Test-näppäimellä saadaan testi ajettua myös manuaalisesti. Test-näppäimen valo syttyy myös vihreänä, kun käynnissä oleva testi hyväksytään.

13. Sense+ liitin (Sense+): Virtasyötön mittauslinja.

14. Virransyöttö (Current): Suurien virtojen syöttöliitin suojamaadoituksen impedanssin ja jatkuvuuden testauksessa.

15. Virransyötön paluu (Return): Suurien virtojen paluuliitin suojamaadoituksen impedanssin, jatkuvuuden ja dielektrisen lujuuden testauksessa.

16. Sense- liitin (Sense-): Virtasyötön paluun mittauslinja.

**Liite 7: Kuvan 12 ARI Omnia 8106 testauslaitteen takapaneelin
numeroitujen osien selitykset**

1. **Dielektrisen lujuustestin jännitteen ulostulo (HV):** Dielektrisen lujuustestien AC- ja DC-jännitteen ulostuloliitin.
2. **Kalibrointi-näppäin (Calib):** Laite asetetaan kalibrointi tilaan pitämällä näppäintä pohjassa ja käynnistämällä laite uudelleen.
3. **Sense-liitin+ (Sense+):** Virtasyötön mittauslinja
4. **Sense-liitin- (Sense-):** Virtasyötön paluun mittauslinja.
5. **Sulake (Fuse):** Laitteen 10 A sulake.
6. **Matriisiskanneriliittimet (Scanner 1 & 2):** Ohjauslinjat enintään kahdelle ulkoiselle orjamatriisiskannerille.
7. **Testauslaitteen suojamaaliitin (GND):** Testauslaitteen rungon suojamaaliitin.
8. **Monitorointiliitin (Remote Signal Output):** 9-nastainen naaras D-liitin PASS-, FAIL- ja PROCESSING-tilojen havainnointiin.
9. **Ohjelmointi/ohjausväylä (Bus Interface):** Standardi IEEE-488 (GPIB) tai RS-232 rajapinta.
10. **Ohjausliitin (Remote Signal Input):** 9 nastainen naaras D-liitin laitteen alustamiseen ja lukitsemiseen, testin käynnistämiseen ja testaustiedoston valitsemiseen.
11. **Tuulettimet (Fans):** Laitteen lämpötilaohjatut tuulettimet.
12. **Virransyöttö (Current):** Suurien virtojen syöttöliitin suojamaadoituksen impedanssin ja jatkuvuuden testauksessa.
13. **Virransyötön paluu (Return):** Suurien virtojen paluuliitin suojamaadoituksen impedanssin, jatkuvuuden ja dielektrisen lujuuden testauksessa.

14. **Käyttöjänniteliitin (Power):** Laitteen käyttöjänniteliitin 115/230 V, 50/60 Hz.
15. **Käyttöjännitteen valitsin (Power switch):** Käyttöjännitteen valitsin 110-120 V ja 220-240 V välille.
16. **Testattavan laitteen käyttöjänniteliitin (DUT Power):** Testattavalle laitteelle syötetään käyttöjännite testauslaitteen kautta. Liittimeen voi syöttää jännitettä 0-277 V ja 50/60 Hz.
17. **Testattavan laitteen käyttöjännitteen syöttöliitin (Line):** Testattavalle laitteelle syötetään käyttöjännite testauslaitteen kautta. Liittimeltä syötetään testattavalle laitteelle käyttöjännite vuotovirta ja käyttöjännite testien aikana sekä dielektrisen lujuuden ja eristysresistanssin testauksen aikana, jos testi on valittu tehtäväksi sähkönsyötölle.
18. **Testattavan laitteen käyttöjännitteen paluuliitin (Neutral):** Virran paluuliitin kohdassa 17 kuvattuihin tarkoituksiin.
19. **Koteloliitin (Case):** Liitetään testattavan laitteen koteloon.
20. **Testattavan laitteen suojamaaliitin (GND):** Liitetään testattavan laitteen suojamaahan.
21. **Mittausliitin+ (Probe HI):** Vuotovirtatestin mittauspään ylempi potentiaali. Tätä mittapäätä käytetään kotelo- ja potilasvuotovirtamittauksiin.
22. **Mittausliitin- (Probe LO):** Vuotovirta testin mittauspään alempi potentiaali. Tätä mittapäätä käytetään potilasvuotovirtamittauksiin.
23. **Ulkoinen mittauskytkentä (External Measuring Device):** Liitin mahdollistaa ulkoisen mittauskytkennän liittämisen vuotovirtatestaukseen.

**Liite 8: Kuvan 14 ARI SC6540 orjamatriisiskannerin etupaneelin
numeroitujen osien selitykset**

1. **Matriisiskannerin ON/OFF valo:** Valo syttyy päämatriisiskanneriin, kun siihen kytketään virta ja orjamatriisiskanneriin, kun se on kytketty testauslaitteeseen ja testauslaitteessa on virta kytkettynä.
2. **Skannerin moduulin indikaattori:** Skannerissa voi olla korkeintaan kaksi moduulia. Valo ilmaisee, kumpi moduuleista on kyseessä. Kun punainen valo palaa, moduulipaikalla on dielektrisen lujuuden ja jatkuvuuden testausta varten kanavia. Kun vihreä valo palaa, moduulipaikalla on suojamaadoituksen impedanssin ja eristysresistanssin testausta varten kanavia.
3. **B-moduulin kanavien tilaindikaattorit:** Kun kanavan valo palaa punaisena on kyseessä dielektrisen lujuustestin/jatkuvuustestin tai suojamaadoituksen impedanssitestin/eristysresistanssitestin syöttökanava. Kun kanavan valo palaa vihreänä, on kyseessä dielektrisen lujuustestin/jatkuvuustestin paluukanava.
4. **A-moduulin kanavien tilaindikaattorit:** Kun kanavan valo palaa punaisena on kyseessä dielektrisen lujuustestin/jatkuvuustestin tai suojamaadoituksen impedanssitestin/eristysresistanssitestin syöttökanava. Kun kanavan valo palaa vihreänä, on kyseessä dielektrisen lujuustestin/jatkuvuustestin paluukanava.

**Liite 9: Kuvan 14 ARI SC6540 orjamatriisiskannerin takapaneelin
numeroitujen osien selitykset**

1. **Matriisiskannerin ohjauksen sisäänmeno (Scanner Bus Input):** Vain orjamatriisiskannerissa. Liitetään testauslaitteen tai päämatriisiskannerin skanneriohjauksen ulostuloon.
2. **Matriisiskannerin suojamaaliitin (GND):** Matriisiskannerin rungon suojamaaliitin.
3. **Dielektrinen lujuus sisäänmeno (HV):** Dielektrisen lujuustestien AC- ja DC-jännitteen sisäänmenoliitin. Yhdistetään testauslaitteen dielektrisen lujuustestin jännitteen ulostuloon.
4. **Suojamaadoituksen impedanssi- ja eristysresistanssitestien ulostulokanavat (CH1-CH8):** Kanavat suojamaadoituksen impedanssi- ja eristysresistanssitestejä varten. Kukin kanava voi olla yksitellen joko päällä tai pois päältä. Tämä moduuli voi olla asennettuna myös toiseenkin moduulipaikkaan ja tämä moduulipaikka voi myös olla tyhjä.
5. **Matriisiskannerin ohjauksen ulostulo (Scanner Bus Output):** Käytössä vain päämatriisiskanneriin liitettynä. Enintään neljä orjamatriisiskanneria voidaan ketjuttaa matriisiskanneriohjausulostulojen ja -sisäänmenojen avulla päämatriisiskanneriin.
6. **GPIO-osoitekytkimet (Address):** 8 DIP-kytkintä GPIO-osoitteen määrittämiseen. Käytössä vain, jos orjamatriisiskanneria ohjataan testauslaitteen kautta GPIO-väylällä, tai päämatriisiskannerissa, jos sitä ohjataan GPIO-väylällä.
7. **Virransyötön sisäänmeno (Current):** Suurien virtojen syötön sisäänmeno suojamaadoituksen impedanssin ja jatkuvuuden testauksessa. Liitetään testauslaitteen Current-liittimeen.
8. **Virransyötön paluun ulostulo (Return):** Suurien virtojen paluun ulostulo suojamaadoituksen impedanssin, jatkuvuuden ja dielektrisen lujuuden testauksessa. Liitetään testauslaitteen Return-liittimeen.

9. Dielektrinen lujuus- ja jatkuvuustestien ulostulokanavat (CH1-CH8):

Kanavat dielektrisen lujuuden ja jatkuvuuden testausta varten. Kukin kanava voi yhtäaikaan olla joko High- tai Low-tilassa tai pois päältä. Tämä moduuli voi olla asennettuna myös toiseenkin moduulipaikkaan ja tämä moduulipaikka voi myös olla tyhjä.

**Liite 10: Kuvan 16 ARI SC6540 päämatriisiskannerin takapaneelin
numeroitujen osien selitykset**

1. **Ohjelmointi-/ohjausväylä (GPIB):** Standardi IEEE-488 (GPIB) rajapinta päämatriisiskannerin ohjaukseen. Vaihtoehtoinen RS232-väylän kanssa. Ei orjamatriisiskannerissa.
2. **Päälle/Pois -virtakytkin:** Tätä virtakytkintä ei ole orjamatriisiskannerissa
3. **Sulake (Fuse):** Laitteen 2 A sulake. Ei orjamatriisiskannerissa.
4. **Käyttöjänniteliitin (Power):** Laitteen käyttöjännite liitin 115/230 V, 50/60 Hz. Ei orjamatriisiskannerissa.
5. **Käyttöjännitteen valitsin (Power switch):** Käyttöjännitteen valitsin 110-120 V ja 220-240 V välille. Ei orjamatriisiskannerissa.
6. **Ohjelmointi-/ohjausväylä (RS232):** Standardi RS-232 rajapinta päämatriisiskannerin ohjaukseen. Vaihtoehtoinen GPIB-väylän kanssa. Ei orjamatriisiskannerissa.

Liite 11: Esimerkkituloste järjestelmän tuottamasta testausraportista

GE HEALTHCARE ELECTRICAL SAFETY TEST REPORT

Device: Laite-X, Serial# 1234567
 Test Result: PASS
 Date & Time: StartDate=xxx, StartTime=xxx, Duration=xxx
 Software: Testijono-X (v1), Mask=123*, Sequencer xxx-1.1
 Safety Analyzer: ARI Omnia 8106, Serial# 7654321, Firmware Ver x.xx

TEST NAME	TARGET	MEASURE	LOW	HIGH	RESULT

					PASS

Functionality Test	Current (A)	0.13	0	1	Pass
	Leakage (mA)	0.08	0	10	Pass
	Powerfactor ()	0.267	0	1	Pass
	Power (W)	8	1	90	Pass
	Voltage (V)	229.7	90	270	Pass

ACWrt (v1)	mA				PASS

Dielectricwithstand AC - Real & Total	Real	0.165	0	10	Pass
	Total	1.283	0.3	10	Pass

GND (v1)	mOhms				PASS

GroundBond		106	0	125	Pass

LLTe (v1)	uA				PASS

LeakCurr - Earth	NC	82	20	300	Pass
	OS	161.1	20	1000	Pass
	NC RM	84.2	20	300	Pass
	OS RM	161.1	20	1000	Pass

LLTt (v1)	uA				PASS

LeakCurr - Touch	NC	0.4	0	100	Pass
	OS	0.4	0	300	Pass
	OE	81.9	10	300	Pass
	NC RM	0.4	0	100	Pass
	OS RM	0.4	0	300	Pass
	OE RM	84.3	10	300	Pass

Signature:

Risto Malmstedt

Liite 12: Esimerkkituloste järjestelmän tuottamasta testityyppien parametritaulukosta

GE HEALTHCARE ELECTRICAL SAFETY TEST SPECIFICATION TABLE

Continuity Test

TARGET	VALUE	RANGE
Dwell (s)	5	0.3-999.9
Offset (ohm)	0	0.00-2.00
No Target (ohm) LO	0	0.00-10.00
No Target (ohm) HI	10	0.00-10.00

GroundBond

TARGET	VALUE	RANGE
Current (A)	25	1.00-40.00
Dwell (s)	5	0.5-999.9
Frequency (50&60Hz)	0	0&1
Voltage (V)	6	3.00-8.00
Offset (mohm)	0	0-200
No Target (mohm) LO	0	0-600
No Target (mohm) HI	125	0-600

DielectricWithstand AC - Real & Total

TARGET	VALUE	RANGE
Arc ()	5	1-9
Arc-Detect (Off&On)	1	0&1
Continuity (Off&On)	0	0&1
Dwell (s)	5	0.4-999.9
Frequency (50&60Hz)	0	0&1
Ramp-down (s)	2	0.1-999.9
Ramp-up (s)	2	0.0-999.9
DUT-output vol. (Off&On)	1	0&1
Voltage (V)	1500	0-5000
Real (mA) LO	0	0.000-10.00
Real (mA) HI	10	0.000-10.00
Total (mA) LO	0.3	0.000-40.00
Total (mA) HI	10	0.000-40.00

DielectricWithstand DC

TARGET	VALUE	RANGE
Arc ()	5	1-9
Arc-Detect (Off&On)	1	0&1

Continuity (Off&On)	0	0&1
Dwell (s)	5	0.3-999.9
Ramp-down (s)	2	1.0-999.9
Ramp-HI (Off&On)	1	0&1
Ramp-up (s)	2	0.4-999.9
Voltage (V)	1500	0-5000
Charge-LO (uA)	0	0.000-3.5000
DUT-output Vol. (Off&On)	1	0&1
No Target (uA) LO	0	0.0-20000
No Target (uA) HI	20000	0.0-20000

InsulationResistance

TARGET	VALUE	RANGE

Charge-LO (uA)	0	0.0-350
Ramp down (s)	2	1.0-999.9
Ramp up (s)	2	0.1-999.9
Voltage (V)	500	50-1000
Delay (s)	2	1.0-999.9
DUT-output Vol. (Off&On)	1	0&1
No Target (Mohm) LO	0.05	0.05-50000
No Target (Mohm) HI	50000	0.05-50000

LeakCurr - Earth

TARGET	VALUE	RANGE

Leakage mode (RMS&Peak)	0	0&1
Meas-Device ()	2	0-8
Delay (s)	2	1.0-999.9
NC (uA) LO	20	0.0-6000
NC (uA) HI	300	0.0-6000
OS (uA) LO	20	0.0-6000
OS (uA) HI	1000	0.0-6000

LeakCurr - Touch

TARGET	VALUE	RANGE

Leakage mode (RMS&Peak)	0	0&1
Meas-Device ()	2	0-8
Delay (s)	2	1.0-999.9
NC (uA) LO	0	0.0-6000
NC (uA) HI	100	0.0-6000
OS (uA) LO	0	0.0-6000
OS (uA) HI	300	0.0-6000
OE (uA) LO	10	0.0-6000
OE (uA) HI	300	0.0-6000

Functionality Test

TARGET	VALUE	RANGE
Delay (s)	5	0.2-999.9
Dwell (s)	2	0.1-999.9
Current (A) LO	0	0.00-15.00
Current (A) HI	1	0.00-15.00
Leakage (mA) LO	0	0.000-10.00
Leakage (mA) HI	10	0.000-10.00
Powerfactor () LO	0	0.000-1.000
Powerfactor () HI	1	0.000-1.000
Power (W) LO	1	0-4200
Power (W) HI	90	0-4200
Voltage (V) LO	90	0.0-277.0
Voltage (V) HI	270	0.0-277.0

Liite 13: Uudella järjestelmällä tehtyjen 10 testiajon tulokset

Testi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sähkösyöttö - Virta (A)	0,24	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,24
Sähkösyöttö - Vuotovirta (mA)	0,29	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,29
Sähkösyöttö - Tehokerroin	0,805	0,765	0,805	0,787	0,787	0,784	0,804	0,805	0,764	0,786
Sähkösyöttö - Teho (W)	46	45	46	45	45	45	46	46	45	45
Sähkösyöttö - Jännite (V)	238	235	238	238,2	238	239	238,3	237,9	235,6	238,5
Dielektrinen lujuus AC - reaalinen (mA)	0,07	0,072	0,072	0,073	0,075	0,075	0,072	0,07	0,072	0,07
Dielektrinen lujuus AC - kokonais (mA)	1,242	1,217	1,232	1,229	1,224	1,222	1,216	1,219	1,214	1,216
Suojamaadoituksen impedanssi (mΩ)	102	102	101	99	100	104	101	99	100	100
Vuotovirta - maa - normaali (μA)	126,5	124	123,5	125,6	124,7	124,6	123,5	124,1	123,2	123,8
Vuotovirta - maa - avoin vaihe (μA)	237,5	230,7	235,2	236,4	234,9	233,9	232,2	232,2	232,1	232,7
Vuotovirta - maa - normaali käännetty (μA)	124,6	122,5	123,5	123,1	122,8	122,8	121,3	122	121,4	121,6
Vuotovirta - maa - avoin vaihe käännetty (μA)	236,9	233,7	235,4	236,3	234,3	234	233,6	232,8	232,2	231,5
Vuotovirta - kotelo - normaali (μA)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Vuotovirta - kotelo - avoin vaihe (μA)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Vuotovirta - kotelo - avoin maa (μA)	126,1	123,7	125,5	125	123,2	124,4	124	123,8	122,6	123,4
Vuotovirta - kotelo - normaali käännetty (μA)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Vuotovirta - kotelo - avoin vaihe käännetty (μA)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Vuotovirta - kotelo - avoin maa käännetty (μA)	124,3	121,9	123,4	122,8	123,5	123,2	121,9	122	121,1	121,4

Liite 14: Vanhalla järjestelmällä tehtyjen 10 testiajon tulokset

Testi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sähkönsyöttö - Jännite (V)	233,4	233,3	233	233,3	233,5	234,3	233,9	233,5	233,4	236,9
Suojamaadoituksen impedanssi (mΩ)	107	107	107	103	101	100	99	99	99	100
Vuotovirta - maa - normaali (μA)	114	114	114	114	114	113	114	113	113	112
Vuotovirta - maa - avoin vaihe (μA)	221	219	219	219	219	219	219	219	219	220
Vuotovirta - maa - normaali käännetty (μA)	117	116	116	116	116	115	117	116	115	116
Vuotovirta - maa - avoin vaihe käännetty (μA)	220	219	219	219	218	218	220	218	218	220
Vuotovirta - kotelo - normaali (μA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vuotovirta - kotelo - avoin vaihe (μA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vuotovirta - kotelo - avoin maa (μA)	115	114	115	114	114	114	115	114	114	114
Vuotovirta - kotelo - normaali käännetty (μA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vuotovirta - kotelo - avoin vaihe käännetty (μA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vuotovirta - kotelo - avoin maa käännetty (μA)	117	116	116	116	116	116	117	116	116	116